

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

Ísis Caroline Siqueira Santos

**COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE  
PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO  
SUL**

SANTA MARIA-RS  
2020

**ÍISIS CAROLINE SIQUEIRA SANTOS**

**COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE  
PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO  
SUL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), área de concentração Organismos do Solo e Insumos Biológicos à agricultura, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Zaída Inês Antonioli  
Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr Rogério Rosa da Silva

SANTA MARIA-RS  
2020

Santos, Isis Caroline Siqueira  
COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE  
PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL  
/ Isis Caroline Siqueira Santos.- 2020.  
66 p.; 30 cm

Orientadora: Zaida Inês Antonioli  
Coorientador: Rogério Rosa Da Silva  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2020

1. Bioma Pampa 2. Hymenoptera (Formicidae) 3.  
Biodiversidade I. Antonioli, Zaida Inês II. Da Silva,  
Rogério Rosa III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

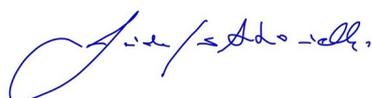
Declaro, ISIS CAROLINE SIQUEIRA SANTOS, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Ísis Caroline Siqueira Santos

**COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE  
PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO  
SUL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), área de concentração Organismos do Solo e Insumos Biológicos à agricultura, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

**Aprovado em 29 de setembro de 2020:**



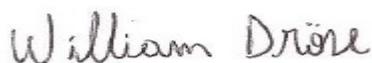
---

**Zaída Inês Antonioli, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



---

**Ricardo Bergamo Schenato, Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> (UFSM)**



---

**William Dröse, Dr<sup>o</sup> (UFRGS)**

Tinha sete anos apenas,  
apenas sete anos,  
Que sete anos!  
Não chegava nem a cinco!  
De repente umas vozes na rua  
me gritaram **NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA!**  
“Por acaso sou **NEGRA?**” – me disse  
SIM!  
“Que coisa é ser **NEGRA?**”  
**NEGRA!**  
E eu não sabia a triste verdade que aquilo escondia.  
**NEGRA!**  
E me senti **NEGRA,**  
**NEGRA!**  
Como eles diziam  
**NEGRA!**  
E retrocedi  
**NEGRA!**  
Como eles queriam  
**NEGRA!**  
E odiei meus cabelos e meus lábios grossos  
e olhei com vergonha da minha carne tostada  
E retrocedi  
**NEGRA!**  
E retrocedi . . .  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA! Neeegra!**  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
E passava o tempo,  
e sempre amargurada  
Continuava levando nas minhas costas  
minha pesada carga  
E como pesava!...  
Alisei o cabelo,  
Passei pó na cara,  
e entre minhas entranhas sempre ressoava a mesma  
palavra  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA! Neeegra!**  
Até que um dia que retrocedia, retrocedia e que ia  
cair  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
**NEGRA! NEGRA! NEGRA!**  
E daí?  
E daí?  
**NEGRA!**  
Sim  
**NEGRA!**  
Sou  
**NEGRA!**  
**NEGRA**

**NEGRA!**  
**NEGRA SOU**  
**NEGRA!**  
Sim  
**NEGRA!**  
Sou  
**NEGRA!**  
**NEGRA**  
**NEGRA!**  
**NEGRA sou**  
De hoje em diante não quero  
alisar meu cabelo  
Não quero  
E vou rir daqueles,  
que por evitar – segundo eles –  
que por evitar-nos algum disabor  
Chamam aos **NEGROS** de “gente de cor”  
E de que cor?  
**NEGRA**  
E como soa lindo!  
**NEGRO**  
E que ritmo tem!?  
**NEGRO NEGRO NEGRO NEGRO**  
**NEGRO NEGRO NEGRO NEGRO**  
**NEGRO NEGRO NEGRO NEGRO**  
**NEGRO NEGRO NEGRO**  
Afinal!  
Afinal compreendi  
AFINAL!  
Já não retrocedo  
AFINAL!  
E avanço segura  
AFINAL!  
Avanço e espero  
AFINAL!  
E dou graças a Deus de ter  
como cor de pele o NEGRO âmbar!  
E já compreendi!  
AFINAL  
Já tenho a chave!  
**NEGRO NEGRO NEGRO NEGRO**  
**NEGRO NEGRO NEGRO NEGRO**  
**NEGRO NEGRO NEGRO NEGRO**  
**NEGRO NEGRO**  
**NEGRA SOU!**

**Me Gritaram Negra-Victoria Eugenia Santa Cruz**  
Gamarra.

## AGRADECIMENTOS

Ao Universo e todas as formas de Luz que podem ser definidas como Deus, por estarem sempre comigo e me direcionando para que consiga fazer o meu melhor!

A minha grande família em especial aos meus pais, Idilena e Jorge, por estarem sempre comigo e me apoiando, não importando o quão longe queira ir, sempre estamos conectados! Aos meus irmãos, Jamylle e Wanderley, por lembrarem sempre da irmã que está distante! Aos meus animais de estimação (Lia e Lolita) que emanam energias de paz e amor, e que fazem quer voltar mais rápido para casa. Aos tios, tias, primos e primas que apoiam e me motivam nos meus estudos. Por fim, a minha amada Mainha (*in memoriam*) por sempre acreditar em mim e também por me motivar a sonhar através dos estudos!

Aos meus amigos do grupo do AntMor, em especial a Emely Siqueira e Rony Almeida que sempre me auxiliam quando preciso -Taxonomia e Ecologia?! Tudo dominado- e que são pessoas *formigáveis* que me fazem refletir sobre muita coisa; ao Laboratório de Biologia do Solo a todos os integrantes e em especial a Joice, Isac, Igor e Valéria sempre presentes comigo na sala 3318A, as conversas e reflexão foram muito boas. Ao Laboratório de Sistemática e Biologia de Formigas que me ajudaram na confirmação das identificações das espécies, todos os integrantes são sensacionais, amáveis e fazem o amor crescer ainda mais pelas Formigas. As novas amizades que construí na Universidade Federal de Santa Maria que incluem, venezuelanos, nigerianos, angolanos e moçambicanos, além das pessoas nativas de Santa Maria e de outros estados do Brasil. E para que ninguém se sinta excluído, não irei citar nomes! Sabiam que foram essenciais para fazer os meus dias mais calmos e alegres nesta cidade, além das trocas culturais que foram sensacionais. Aos funcionários do departamento de Solos, prédio 42 e 44G que de alguma forma me auxiliaram, expresso gratidão por tudo!

Em seguida, a minha orientadora Professora Zaida Antonioli que topou a imersão ao mundo das Formigas, sempre auxiliando em todas as etapas do mestrado! Ao meu coorientador Rogério R. Silva responsável por me incentivar a trabalhar com o seguimento da fauna de formigas subterrâneas, sabemos que os desafios e dificuldades são muitos, porém sempre com resultados incríveis. Aos dois grata de coração por todos os ensinamentos e motivação!

A banca composta pelo profº Dr Ricardo Schenato e Dr William Dröse que merecem minha admiração por serem pesquisadores incríveis, assim como, por terem aceitado a missão de avaliar este trabalho fazendo suas contribuições para a melhoria e relevância do mesmo. Ao profº Fernando Quadros que autorizou que as coletas na área experimental pudessem ser realizadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo!

Desta forma, este trabalho só foi possível porque todos vocês estiveram de alguma forma presente!

GRATIDÃO A TODOS!!

## RESUMO

### COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA DE PASTAGEM NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Ísis Caroline Siqueira Santos  
ORIENTADOR: Zaída Inês Antonioli  
COORIENTADOR: Rogério Rosa da Silva

O bioma Pampa é formado por um ecossistema com elevada biodiversidade tanto da fauna como a flora, e representa mais de 60% do território do estado do Rio Grande do Sul. Por ser um ambiente majoritariamente campestre, a principal atividade desenvolvida é a agropecuária, que se desenvolve fortemente nesse estado. Esta atividade é caracterizada principalmente pela criação extensiva de gado, utilizando os recursos naturais dos campos nativos para a alimentação animal. Porém, essa atividade quando mal manejada é impulsionadora da degradação do solo, levado pelo excesso de carga animal nessas áreas e aliado também a falta de conhecimento da dinâmica desse ambiente. Conseqüentemente, a falta de manejo adequado, ocasiona alterações nas propriedades do solo, desta forma afetando diretamente a fauna associada. Para o monitoramento destas áreas, os artrópodes, principalmente as formigas, podem ser utilizados como excelentes bioindicadores dessas alterações no ambiente. Assim, o objetivo deste trabalho foi descrever a fauna de formigas subterrâneas em área de pastagem nativa e verificar o efeito das frequências de pastejo sob esta fauna. O estudo foi realizado em uma área de pastagem nativa pertencente à Universidade Federal de Santa Maria e localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Os tratamentos da área foram intervalos de pastejo definidos por duas somas térmicas 375 e 750 graus-dias (GD) que determinam o manejo do gado e uma área de exclusão na divisa dos dois tratamentos. Para a coleta do material biológico foi utilizado a metodologia do mini-Winkler. No total foram amostrados 180 pontos e distribuídos em 45 parcelas. Obteve-se 64 espécies de formigas pertencentes a 19 gêneros e cinco subfamílias. A maior ocorrência de formigas foram dos gêneros *Pheidole* Westwood, 1839, *Wasmannia* Forel, 1893, *Solenopsis* Westwood, 1840, *Brachymyrmex* Mayr, 1868 *Hypoponera* Santschi, 1938 e *Typhlomyrmex* Mayr, 1862. Das 64 espécies de formigas coletadas no estudo, observou-se que somente 14 espécies são indicadoras da área de pastagem e todas são da área de exclusão. A riqueza de espécies apresentou diferença significativa entre as áreas amostradas, porém a área de exclusão apresentou maior riqueza. Verificou-se também que os elementos  $Al^{3+}$ , S e pH influenciaram diretamente a riqueza de espécies de formigas subterrâneas. A composição de espécies não diferiu entre os tratamentos 375 e 750GD, porém, houve diferença da área de exclusão do pastejo, tendo algumas espécies sido relacionadas aos elementos nutricionais do solo. A inclusão do gado na áreas de pastagem nativa reduz a riqueza e altera a composição das espécies de formigas subterrâneas.

**Palavras-chave:** Bioma Pampa. Formicidae. Biodiversidade.

## ABSTRACT

### UNDERGROUND ANTS COMMUNITY IN GRASSLAND AREA IN THE CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Ísis Caroline Siqueira Santos

ADVISER: Zaída Inês Antonioli

CO-SUPERVISOR: Rogério Rosa da Silva

The Pampa biome is formed by an ecosystem with high biodiversity of both fauna and flora represents more than 60% of the territory of Rio Grande do Sul state. As a rural environment the main activity developed is agriculture and livestock, which develops strongly in that state. This activity is mainly characterized by extensive cattle raising, using the native resources of native fields for animal feed. However, this activity, when handled poorly, promotes soil degradation, driven by the excessive animal load in these areas and also coupled with the lack of knowledge of the dynamics of this environment. Consequently, the lack of proper management, causes changes in soil properties, thus directly affecting the associated fauna. For monitoring these areas, arthropods, especially ants, can be used as excellent bioindicators of these changes in the environment. Thus, the objective of this work was to know the fauna of underground ants in a native pasture area with grazing management. The study was carried out in a native pasture area belonging to the Federal University of Santa Maria and located in the physiographic region of the Central Depression of Rio Grande do Sul. The treatments of the area were two grazing intervals defined by thermal sums of 375 and 750 degree-days (GD) that determine livestock management and an exclusion area on the border of the two treatments. The mini-Winkler methodology was used to collect biological material. In total 180 points were sampled and distributed in 45 plots. 64 ant species belonging to 19 genera and five subfamilies were obtained. The largest occurrence of ants was of the genera *Pheidole* Westwood, 1839, *Wasmannia* Forel, 1893, *Solenopsis* Westwood, 1840, *Brachymyrmex* Mayr, 1868 *Hypoconerina* Santschi, 1938 and *Typhlomyrmex* Mayr, 1862. Of the 64 species of ants collected in the native pasture area, he observed only 14 species are indicative of the grassland area and all species from the exclusion area. Species richness showed a significant difference between the sampled areas, but the exclusion area showed greater richness. It was also found that the elements  $Al^{3+}$ , S and pH directly influenced the richness of underground ant species. The species composition did not differ between treatments (375 and 750 GD), however, there was a difference in the grazing exclusion area, with some species being related to soil nutritional elements. The inclusion of cattle in native pasture areas reduces the richness and composition of underground ant species.

**Keywords:** Pampa biome. Formicidae. Biodiversity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapas de (A) localização da cidade de Santa Maria dentro do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, (B) mapa da cidade de Santa Maria e indicação da área experimental, (C) disposição dos tratamentos dentro da área experimental e pontos de amostragens. Imagens da vegetação nas áreas de coletas (D) tratamento 750 Graus-dias, (E) área de exclusão e (F) tratamento 375 Graus-dias, situada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Rio Grande do Sul, Brasil.....27

Figura 2-Protocolo da amostragem da fauna de formigas utilizando o método do mini-Winkler. (A) desenho esquemático da coleta realizada dentro do piquete, (B) dimensões de solo utilizadas para a coleta da mirmecofauna, (C) solo sem a camada vegetal, (D) mini-Winkler montado para a extração do material biológico e (E) etapa final de triagem e armazenamento em frasco devidamente identificados.....29

Figura 3- Imagens de cada gênero de formiga mais representativo coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os gêneros na imagem são representados por (A) *Pheidole*, (B) *Wasmannia*, (C) *Solenopsis*, (D) *Brachymyrmex*, (E) *Hypoponera*.....34

Figura 4- Riqueza das espécies de formigas subterrâneas coletadas em áreas de pastagem nativa com mini-Winkler e influência dos elementos químicos do solo no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Tratamentos 375 GD, 750 GD e Área de exclusão na área.....38

Figura 5- Riqueza das espécies de formigas subterrâneas coletadas em áreas de pastagem nativa com mini-Winkler e influência dos elementos químicos do solo no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Tratamentos 375 GD, 750 GD e Área de exclusão na área.....40

Figura 6- Análise de Redundância (RDA) com as variáveis químicas e física do solo mensuradas e relacionadas para a mirmecofauna que foram coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Em vermelho, tratamento 750 Graus-dias, em laranja, tratamento 375 Graus-dias e em verde, área de exclusão (E).....41

Figura 7- Seleção dos dados de solo analisado graficamente através da correlação de Person. Solo coletado na área de pastagem nativa no Campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.....55

## LISTA DE TABELAS

### 2.4 FORMIGAS.....8

Tabela 1- Lista de espécies de formigas epigeicas coletadas com diferentes métodos de amostragens na região Sul do Brasil, considerando os dois biomas da região e diferentes habitats. Para a composição desta tabela foram consideradas somente as espécies nominais registradas e, portanto, não considerando as morfoespécies.....11

### ARTIGO<sup>1</sup>: COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM UMA ÁREA DE PASTEJO NO BIOMA PAMPA.....20

Tabela 1- Lista de espécies de formigas coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no estilo de presença (x) ou ausência de ocorrência. Tipos de manejo por pastejo: 375 Graus-Dias , 750 Graus-Dias e Exclusão (E) em uma área de pastagem no campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.....36

Tabela 2- Valor individual de indicação (IndVal) das espécies de formigas subterrâneas coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. ....38

Tabela 3- Resumo dos modelos de seleção das propriedades do solo que afetam a riqueza de espécies de formigas que foram coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Al= alumínio; pH= potencial hidrogeniônico; S= enxofre. Os modelos foram ranqueados do mais forte para o mais fraco, levando em consideração o valor do critério de informação de Akaike corrigido (AICc). ....39

Tabela 4- Resumo da PERMANOVA testadas para as variáveis preditoras que foram analisadas na área de pastagem nativa no Campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.....42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C- Graus Célsius

GD - Graus-Dias

Al<sup>3+</sup>- Alumínio

B- Boro

Ca<sup>2+</sup>- Cálcio

Cu<sup>2+</sup>- Cobre

CTC pH7- Capacidade de troca catiônica a pH7

CTC efetiva- Capacidade de troca catiônica efetiva

H+Al<sup>3+</sup>- Acidez potencial

M.O- Matéria Orgânica

K<sup>+</sup>- Potássio

P- Fósforo

S- Enxofre

Mg<sup>2+</sup>- Magnésio

Zn- Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 PASTAGEM NATIVA NO BIOMA PAMPA.....	6
2.2 MANEJO DAS PASTAGENS NO BIOMA PAMPA.....	6
2.3 FAUNA NO PAMPA.....	7
2.4 FORMIGAS .....	8
<b>3 OBJETIVO</b> .....	13
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	14
<b>ARTIGO1: COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM UMA ÁREA DE PASTEJO NO BIOMA PAMPA</b> .....	20
<b>1 Introdução</b> .....	24
<b>2 Métodos</b> .....	25
2.1. <i>Área experimental</i> .....	25
2.2. <i>Descrição dos ambientes</i> .....	27
2.3. <i>Delineamento amostral</i> .....	28
2.4. <i>Coleta da fauna de formigas do solo</i> .....	28
2.5. <i>Propriedades do solo</i> .....	30
2.6. <i>Análises estatísticas</i> .....	31
2.6.1. <i>Dados da comunidade de formigas</i> .....	31
2.6.2. <i>Dados do solo</i> .....	31
2.6.3. <i>Riqueza de formigas na área de pastagem e relação entre as pressões de pastejo e seu feito na riqueza das espécies</i> .....	32
2.6.5 <i>Indicador de espécies</i> .....	32
2.6.4 <i>Composição de espécie e efeito das variáveis do solo</i> .....	33
<b>3 Resultados</b> .....	34
3.1 <i>Riqueza de formigas</i> .....	34
3.2. <i>Espécies indicadoras</i> .....	38
3.3. <i>Riqueza da comunidade de formigas subterrâneas nas diferentes frequências de pastejo</i> .....	39
3.4. <i>Composição da fauna de formigas subterrâneas e atributos do solo</i> .....	40
<b>4 Discussão</b> .....	43
<b>5 Conclusão</b> .....	48
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	54
<b>ANEXO 1</b> .....	55

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Bioma Pampa possui uma diversidade de fitofisionomias, incluindo formações campestres, florestas estacionais e formações pioneiras. O Bioma representa 20% do território da Argentina e praticamente toda a área do Uruguai. No Brasil, representa 2% do território brasileiro, localizado principalmente na metade sul do Rio Grande do Sul (RS), representando 63% do território. Entretanto, apenas 45% do bioma permanece sendo cobertura nativa (FERREIRA; FILIPPI, 2010; HASENACK et al., 2010; LITRE; BURSZTYN, 2015; MAPBIOMAS, 2020).

Na área abrangida pelo bioma Pampa encontra-se uma das maiores diversidades de vegetação campestre no Brasil, sendo que a diversidade de espécies vegetais se divide entre gramíneas e leguminosas, podendo abranger cerca de 2.150 espécies vegetais (BOLDRINI, 2009). A formação vegetal característica deste ambiente favoreceu o estabelecimento da pecuária como principal forma de uso do solo, caracterizado pela criação extensiva de gado, utilizando os campos nativos como recurso nativa para o pastoreio do gado (QUADROS et al., 2011). O efeito do gado sobre a área de pastagem é resultante do efeito que o animal exerce sobre as plantas presentes, isto é, a frequência que espécies vegetais são desfolhadas, resultando em modificação da composição florística da pastagem (NABINGER et al., 2009).

A riqueza das pastagens naturais do bioma Pampa, por vezes, expressa-se em dificuldades de implementação de práticas de manejo pela ausência de conhecimento dos processos e dinâmicas que geram um ambiente com alta riqueza de campos naturais (QUADROS et al., 2011). Porém, algumas áreas estão sendo elucidadas, como o estudo dos microrganismos do solo (BARBOZA et al., 2018), trabalhos como o pastejo integrado de produção e avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CARVALHO et al., 2016; FREIBERG et al., 2020).

A fauna do solo pode ser considerada megadiversa, composta desde seres microscópicos como nematoides e protozoários até organismos maiores, como crustáceos e formigas. A fauna apresenta uma diversidade de tamanhos e desempenha funções essenciais em todos ecossistemas, como por exemplo, ciclagem de nutrientes, bioturbação e aumento da fertilidade do solo (LAVELLE et al., 2006; PRATHER et al., 2013), com uma participação importante dos artrópodes, considerados engenheiros do solo (LAVELLE et al., 1997).

Além de serem essenciais aos serviços dos ecossistemas, os artrópodes são sensíveis a diversos fatores ambientais e ecológicos, sendo utilizados frequentemente como

bioindicadores da qualidade do solo (MADZARIC et al., 2018). Além disso, esses organismos interagem formando cadeias alimentares complexas de forma que qualquer modificação na diversidade de algum grupo ou associação funcional, pode reduzir a abundância, a diversidade e o funcionamento da biota do solo (WAGG et al., 2014). Desta forma, muitas vezes podem prejudicar serviços ecossistêmicos desempenhado por diversos outros grupos de invertebrados no solo (LAVELLE et al., 2006).

Diversos estudos em diferentes biomas brasileiros já foram desenvolvidos para o monitoramento de alterações no ambiente provocadas pela agricultura (SCHMIDT; DIEHL, 2008), florestas comerciais (PODGAISKI; OTT; GANADE, 2007), fragmentação ambiental (CUISSI et al., 2015), uso do fogo (DA SILVA et al., 2020) e outras forma de uso do solo (RIBAS et al., 2012).

Entre os invertebrados, as formigas são extremamente diversas e abundantes nos ambientes, sendo que sua biomassa junto com cupins é comparativamente maior do que qualquer grupo de invertebrados (ALONSO, 2010). As formigas pertencem à uma única família, Formicidae, com mais de 16 mil espécies e subespécies válidas, 17 subfamílias, 39 tribos e 337 gêneros (BOLTON, 2020).

As formigas estão presentes em todos os ambientes terrestres (FOLGARAIT, 1998; LUCKY et al., 2013), exploram os mais diversos recursos alimentares e podem ser encontradas desde as copas dos estratos vegetais até o interior do solo (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990; RYDER WILKIE et al., 2010). Por serem amplamente distribuídos (ANDERSEN et al., 2002; ANDERSEN; BRAULT, 2010), são frequentemente utilizadas em monitoramento ambiental.

As formigas subterrâneas, as quais nidificam e forrageiam exclusivamente dentro das camadas do solo, têm recentemente recebido maior atenção (RYDER WILKIE et al., 2010), principalmente, por ser uma fauna pouco estudada (JACQUEMIN et al., 2012) e pelas dificuldades metodológicas para amostrar sistematicamente esse segmento de fauna de formigas. Silva e Silvestre (2004), trabalharam com a fauna de serapilheira e subterrânea usando mini-Winklers, uma técnica de coleta usada para a serapilheira, e consideraram que esta técnica promissora para a coleta da fauna de formigas subterrânea.

Wong e Guenárd (2017) elaboraram uma revisão com todas as metodologias já publicadas para o estudo da fauna subterrânea de formigas, e também apontaram o mini-Winkler como o modo mais eficiente de padronização de coleta de amostras de solo para o

estudo da fauna de formigas subterrâneas. Além disso, na Austrália, formigas vem sendo utilizadas em áreas de monitoramento de pastagens, principalmente por estudos anteriores mostrarem que a riqueza e abundância de espécies de formigas é afetada pelo superpastejo (READ; ANDERSEN, 2000).

Desta forma neste trabalho, testou-se a hipótese que as frequências de pastejo reduzem a riqueza de espécies e alteram a composição da fauna de formigas subterrâneas comparada a área de exclusão. O objetivo geral do trabalho foi descrever a fauna de formigas subterrâneas em áreas de pastagem nativa e determinar se as frequências de pastejo influencia a biodiversidade de assembleias de formigas subterrâneas no bioma Pampa, na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Pastagem nativa no bioma Pampa**

O Brasil, país de tamanho continental, possui sete grandes formações ecossistêmicas em seu território tais como, Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pantanal, Pampa e Áreas Costeiras (IBGE, 2004). A região sul do Brasil é representada por dois desses biomas, sendo estes a Mata Atlântica e em maiores extensões, o bioma Pampa (OVERBECK et al., 2007).

O clima do Estado do Rio Grande do Sul conforme a classificação de Köppen enquadra-se nos tipos climáticos Cfa e Cfb, temperado, com chuvas mensais. Os meses mais quentes do ano, entre dezembro e janeiro, têm temperaturas médias no Estado que variam entre 18°C e 26°C, dependendo das regiões climáticas (KUINCHTNER; BURIOL, 2001).

O termo bioma é definido segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como um agrupamento de vida- fauna e flora- que consiste na presença de vegetação contígua, identificável a nível regional, com condições edafoclimáticas semelhantes e mudanças históricas compartilhadas, resultando em biodiversidade exclusiva (IBGE, 2004).

O Pampa apresentam formações fitofisionômicas campestre bem distintas, classificadas em quatro principais grupos: Planalto da Campanha, Depressão Central, Planalto Sul-Rio-Grandense e Planície Costeira (BEHLING et al., 2009).

O Pampa foi reconhecido como bioma somente em 2004, quando entrou no Mapa dos Biomas Brasileiros pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Ministério do Meio Ambiente. Desde então, é o quinto maior bioma e restrito ao estado do Rio Grande do Sul, representando cerca de 63% da extensão territorial do estado (IBGE, 2019). Porém, esse bioma não é restrito ao território brasileiro; é compartilhado com o Uruguai, região centro-leste da Argentina e o extremo sudeste do Paraguai (BEHLING et al., 2009; BENCKE; CHOMENKO; SANT'ANNA, 2016).

O Pampa é composto por muitas espécies da flora e fauna endêmicas, ou seja, é um ecossistema reconhecido por sua rica biodiversidade e ocorrências de espécies vegetais que só ocorrem neste ambiente, desta forma são endêmicas do Pampa (PILLAR et al., 2009).

Porém, este bioma vem sendo permanentemente modificado, com a expansão da agricultura, tornando cada vez menor o tamanho de áreas naturais, o que implica em vários fatores ecológicos: (i) ambientes fragmentados, (ii) redução da biodiversidade endêmica, (iii)

invasão de espécies exóticas tanto de espécies de forrageiras quanto de espécies florestais, e na (iv) perda de solo por processos erosivos (CARVALHO; BATELLO, 2009).

Os solos característicos do bioma são originários de rochas sedimentares, principalmente arenitos, que os tornam vulneráveis e sujeitos ao processo de arenização (ROESCH et al., 2009). Desta maneira, algumas classes de solos, como exemplo, os Argissolos da região têm fortes limitações químicas como baixos teores de fósforo e pH, caracterizando-se de modo geral, em solos de baixa fertilidade. Estas características do solo, associado ao manejo intenso e inapropriado, que não leva em consideração a capacidade de suporte do ecossistema, tem favorecido a degradação e ocasionando a perda da biodiversidade local (CARVALHO, 2016; FERREIRA; FILIPPI, 2010).

As atividades agrícolas modificam o ambiente, tornando-o mais suscetível à degradação, uma vez que o solo, proveniente de rochas sedimentares, torna este ambiente bastante frágil. Por ser muito sensível às variações de água dentro do perfil e erosão, as atividades agrícolas que não atendem práticas conservacionistas, promovem a intensa degradação do solo (ROESCH et al., 2009).

Esses fatores são considerados preocupantes do ponto de vista ecológico, considerando que a biodiversidade do Pampa apresenta em sua origem variações espaciais e temporais que deram surgimento as mais variadas formações vegetais. Além disso, as ações antropogênicas, como o efeito do fogo e o próprio manejo de bovinos, são consideradas medidas de manejo desse ambiente, porque a supressão do gado e do fogo, torna favorável o estabelecimento de espécies lenhosas. Isto, demonstra que os distúrbios ocasionados por animais e pela ação antrópica são importantes para a manutenção do bioma. Adicionalmente, as características da textura do solo e a baixa fertilidade nativa, moldaram plantas com adaptações à falta de água e à baixa transpiração (BEHLING et al., 2009; ROESCH et al., 2009).

Behling et al., (2009) e Rosech et al., (2009) defendem que os campos necessitam ser protegidos para que mantenham as suas funções e características ecológicas. Entretanto, estes estão sendo constantemente convertidos em áreas plantações de *Acácia*, *Eucalytus*, *Pinus* e soja. Ainda, existe uma relação direta do homem com o Pampa, como no uso do fogo no manejo da pastagem, conversação de forragens e uso de cercas. Contudo tanto a introdução do gado neste ambiente quanto a super lotação da carga animal em uma área pequena devem ser

analisadas em relação ao impacto dessas atividades e o suporte do ecossistema (BEHLING et al., 2009 ;CARVALHO; BATELLO, 2009).

## **2.2 Manejo das pastagens no bioma Pampa**

O Pampa apresenta ao longo de sua história forte relação com a criação extensiva do gado, sendo os campos nativos o principal recurso para a produção agropecuária no Rio Grande do Sul (MARCHI et al., 2018). A preservação dos campos é dependente de distúrbios multiespecíficos determinados antigamente por queimadas espontâneas e pastejo por animais herbívoros nativos. Atualmente essas perturbações foram substituídas pelo manejo pastoril, existindo evidências que a exclusão das perturbações ocasionadas pelo fogo e pastejo do gado está relacionada a perda de biodiversidade ao longo do tempo, principalmente atribuída às gramíneas nativas de porte alto e dominante com consequente efeito negativo sobre espécies estritamente campestres (BEHLING et al., 2009; BENCKE; CHOMENKO; SANT'ANNA, 2016).

Porém, a atual pecuária no Rio Grande do Sul tem gerado impactos evidentes neste ambiente, principalmente por estar associado com o excesso de carga animal e a expansão das áreas agrícolas, como soja (CRAWSHAW et al., 2007). O manejo inadequado do solo ocasiona ao longo do tempo a degradação deste ecossistema e, conseqüentemente, alteração de propriedade físicas, químicas e biológicas do solo (CONTE et al., 2011; DOMÍNGUEZ et al., 2018).

Manejos que considerem um ajuste da taxa de lotação animal nas áreas, auxiliam para que a compactação do solo aconteça somente na camada superficial do solo. Desta forma, o solo retoma as suas condições iniciais, assim como, as pastagens manejadas apresentam melhores índices de qualidade do solo e conseqüentemente, trazem maiores ganhos no processo produtivo, como o ganho diário de peso vivo animal. Contudo, existe uma relação direta entre diferentes pressões de pastejo e a biomassa produzida pelas pastagens, sendo de grande relevância monitorar esse processo que altera a vegetação existente e que conseqüentemente afetará a taxa de animal na área (CARVALHO; BATELLO, 2009). Considerando o interesse econômico dessas áreas, o monitoramento da fauna que vive dentro do solo pode trazer informações biológicas relevantes para determinar como práticas de manejo afetam a qualidade do solo e, conseqüentemente, produção.

De acordo com Carvalho e Batello (2009) a baixa produtividade do gado de corte no Pampa está associada a preocupação em manter as pastagens naturais em suas propriedades. Porém, os mesmos autores ressaltam uma dualidade - países em desenvolvimento têm aumento crescente da demanda por proteína animal e aumentar a carga animal nessas áreas de pastagem naturais é necessário para que se tornem mais produtivas. Assim em um curto espaço de tempo estas áreas podem sofrer problemas gerados por superpastejo. O Pampa é um bioma único, sendo necessário para preservar as funções desse ecossistema.

Os mesmos autores defendem que toda a iniciativa de conservação do Bioma Pampa, deve ser desenvolvida juntamente com o produtor rural, pois este está diretamente ligado no seu cotidiano a esse bioma, por meio disto pode atuar no desenvolvimento de atividades de preservação e manutenção desse ambiente. Assim esclarecem que os produtos agrícolas tem se expandido nesse ambiente porque são mais fáceis de serem mensurados a sua produtividade por hectare. Já as pastagens naturais, por exemplo, por ser um ambiente complexo e dinâmico, o produtor não consegue identificar os rendimentos produtivos, tornando assim os sistemas agrícolas, como o plantio da soja mais fácil, mais rentável e com maiores ganhos produtivos para a renda do produtor.

Neste contexto, os dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2019), sugerem que do total de 365.052 mil estabelecimentos com atividade agropecuária no estado do Rio Grande do Sul, cerca de 42% são ocupadas por pastagens e 36% por lavouras (permanentes e temporárias). Portanto, nos últimos 11 anos, a área de lavouras tem crescido, com redução das áreas pastagens naturais nas propriedades com atividade agropecuária no estado do Rio Grande do Sul. Particularmente para o bioma Pampa, o futuro da diversidade biológica das pastagens, incluindo sua fauna, é uma crescente preocupação para conservação no Brasil (BENCKE, 2009).

### **2.3 Fauna no Pampa**

O Pampa alicerça múltiplos habitats e uma expressiva diversidade de fauna. As espécies comumente encontradas são animais essencialmente campestres, em grande maioria encontra-se aves como ema (*Rhea americana americana* (Linnaeus, 1758), perdiz (*Nothura maculosa maculosa* (Temminck, 1815), quero-quero (*Vanellus chilensis* (Molina, 1782), caturrita (*Myiopsitta monachus* (Boddaert,1783)), joão-de-barro (*Furnarius rufus* (Gmelin,

1788) e mamíferos de pequeno porte como zorrilho (*Conepatus chinga* (Molina, 1782) e o graxaim-do-campo (*Lycalopex gymnocercus* (Fischer, 1814) (BENCKE, 2009).

A composição e altura das espécies forrageiras influenciam a ocorrência das aves campestres no Pampa. A exemplo, da ave caminheiro-grande (*Anthus nattereri* Sclater, 1878), que vive em áreas onde a altura das plantas é relativamente baixa e não há grande incidência de touceiras ou arbustos, enquanto a ave corruíra-do-campo (*Cistothorus platensis* (Latham, 1790) é encontrada em áreas mais densas e com vegetação mais alta, podendo ter ou não arbustos. Ou seja, as duas espécies raramente serão presenciadas no mesmo ambiente, porém podem compartilhar a mesma paisagem se ocorrer diferentes pressões de pastejo, ao ponto de gerarem estrutura de habitat compatíveis a cada uma delas (BENCKE, 2016).

Os invertebrados representam a maior parte da biodiversidade do Pampa, assim como de qualquer outro ecossistema (BENCKE, 2016). Neste sentido, os artrópodes são ativos e importante para o funcionamento do ecossistema do solo (CULLINEY, 2013). Essa diversidade de organismos, frequentemente oculta, contribui para a biomassa terrestre e está intimamente ligada à biodiversidade epigéica (WAGG et al., 2014).

A macrofauna do solo, formada por invertebrados com diâmetro corporal superior a 2 mm, habitam também a serapilheira superficial e auxiliam na decomposição de material orgânico que favorece a formação de galerias no solo (LAVELLE; ESPANHA, 2003). De modo geral, o conhecimento sobre os invertebrados do solo no Pampa permanece bastante incompleto (LEWINSOHN, 2006), onde o grupo de invertebrados mais estudados e bem amostrados neste bioma são os lepidópteros diurnos (SANTOS et al., 2008). Entretanto é possível encontrar trabalhos com organismos do solo (PODGAISKI et al., 2007) envolvendo coleópteros (VALMORBIDA et al., 2018), dípteros (ZAFALON-SILVA et al. 2018), minhocas (STEFFEN et al., 2018), aranhas (FREIBERG et al., 2020) e formigas epigeias (DRÖSE et al., 2015, 2019; ROSADO et al., 2013).

## **2.4 Formigas**

As formigas compõem uma única família Formicidae em Hymenoptera (HOLLDOBLER; WILSON, 1990). Atualmente, existem mais de 16 mil espécies de formigas em 17 subfamílias, 39 tribos e 337 gêneros (BOLTON, 2020). Para o Brasil, existem registros

da ocorrência de 13 subfamílias, 112 gêneros dos quais oito são endêmicos e 1.503 espécies (ANTWIKI, 2020).

Em função de ser um grupo diverso e dominante, representado por indivíduos herbívoros, polinizadores, dispersores de sementes e predadores, desempenham funções primordiais no ambiente terrestre (KASPARI, 2003). Conforme Silva e Brandão (1999) já afirmavam, a importância de estudos básicos sobre a mimercofauna, principalmente por se tratar de um grupo hiperdiverso, apresenta sempre chances de ampliar o conhecimento ainda incompleto na maioria dos biomas brasileiros sobre taxonomia ou distribuição desses organismos.

As formigas apresentam ampla distribuição e adaptações aos mais diversos ambientes, e são encontradas desde os mais conservados aos mais deteriorados (SILVESTRE, 2000). A presença e frequência de certas espécies pode indicar o estado de um ambiente, uma vez que determinadas espécies têm preferências e são coletadas em ambientes preservados ou degradados (LATTKE, 2015). Assim, as formigas são bastante utilizadas para estudos de monitoramento ambiental, por serem organismos dominantes (em termos de riqueza e número de indivíduos), fáceis de serem coletadas, ninhos fixos e baixa mobilidade da população (FOWLER et al., 1991).

As formigas podem ocupar variados níveis estruturais de um hábitat, a exemplo da fauna de formigas que habitam/exploram o dossel da vegetação, a fauna epigeica que forrageia na superfície do solo e a fauna hipogeica que habita o estrato da serrapilheira ou vive dentro do solo (SILVESTRE, 2000).

A mirmecofauna subterrânea é considerada a última fronteira de conhecimento sobre a biodiversidade de formigas (RYDER et al., 2010). A ausência de dados sobre formigas subterrâneas está associada a dificuldade para coletar formigas subterrâneas e a inexistência de protocolos metodológicos para este segmento de fauna (JACQUEMIN et al., 2012).

O uso de amostras de solo em extratores de fauna do tipo mini-Winkler foi considerada eficiente no trabalho de Wong e Guenárd (2017), após uma revisão de 8800 artigos científicos que usaram diferentes métodos de coletas para coletar formigas. Estes autores concluíram que o método mini-Winkler usando solo é a metodologia mais adequada para a coleta da fauna de formigas subterrâneas.

Os estudos sobre a fauna de formigas subterrâneas têm crescido nos últimos anos. Silva e Silvestre (2004) fizeram um estudo no estado de Santa Catarina sobre fauna de

formigas, comparando a fauna que habita a serrapilheira e solo, sendo coletadas 81 e 71 espécies, respectivamente. Verificaram que há diferenças na composição da fauna de formigas que habita os estratos estudados, existindo alta complementaridade entre os dois ambientes.

Schmidt e Diehl (2008) coletaram 35 espécies de formigas em uma fazenda no estado do Rio Grande do Sul, constituída por diferentes uso do solo, como: áreas de cultivo, pastagens, florestas e remanescentes de florestas nativas em diferentes estágios de sucessão. Neste trabalho verificaram que a composição das espécies foi influenciada pelo uso do solo, sugerindo que haja esforços para o estudo das funções ecológicas que essas espécies exercem no meio ambiente e pelas áreas modificadas pela ação humana.

O uso do mini-Winkler para a coleta da fauna de formigas subterrâneas ainda é bastante incipiente e incomum nos trabalhos anteriores. Para o bioma Pampa, estudos específicos sobre a fauna subterrânea são ainda inexistentes.

Trabalhos realizados na região sul do Brasil (Tabela 1) demonstram o quão diversa e complexa a fauna de formigas amostradas nos dois biomas pode ser. DE ALBUQUERQUE e DIEHL (2009) coletaram 35 espécies de formigas em um levantamento de formigas epigéicas no Parque Nacional dos Aparados da Serra. É importante ressaltar que neste trabalho, uma espécie de formiga subterrânea, *Acropyga* (*Rhizomyrma*) *goeldii* Forel, 1893 coletada pelos autores, representou a primeira ocorrência para o estado do Rio Grande do Sul.

DIEHL et al., (2004) realizaram um estudo na mina Camaquã localizada na cidade de Caçapava do Sul, e registraram 51 espécies de formigas. Observaram que área com elevadas concentrações de cobre apresentavam baixa riqueza de formigas. As espécies *Acromyrmex lundii* (Guérin-Méneville, 1838), *Conomyrma* sp., *Camponotus* (*Myrmaphaenus*) sp. e *Solenopsis invicta* Buren, 1972 foram espécies que se destacaram por estarem presentes em todos os sítios de coletas, inclusive nos ambientes com elevada concentração de cobre. Os autores sugerem que a abundância dessas espécies em tais ambiente, indica maior tolerância destas espécies (adaptação) e possível modificação genética para explorarem ambientes contaminados.

Dröse (2015), estudando áreas de pastagem dos biomas Pampa e Mata Atlântica, registrou 96 espécies de formigas. Neste trabalho os gêneros que tiveram mais espécies coletadas foram *Pheidole* Westwood, 1839, *Solenopsis* Westwood, 1840, *Hypoponera* Santschi, 1938 e *Camponotus* Mayr, 1861. Ao se comparar os dois biomas, verificou que a maior riqueza e espécies exclusivas ocorreu no bioma Pampa, com um total de 83 e 41

espécies, respectivamente. Um destaque deste estudo foi o registro de uma espécie nova do gênero *Acanthoponera* para o bioma Pampa.

Tabela 1- Lista de espécies de formigas epigeicas coletadas com diferentes métodos de amostragens na região Sul do Brasil, considerando os dois biomas da região e diferentes habitats. Para a composição desta tabela foram consideradas somente as espécies nominais registradas e, portanto, não considerando as morfoespécies.

Subfamília	Espécie	Bioma	Habitat	Autor
Formicinae	<i>Acropyga</i> ( <i>Rhizomyrma</i> ) <i>goeldii</i> Forel, 1893	Mata Atlântica	Parque Nacional dos Aparados da Serra	(DE ALBUQUERQUE ; DIEHL, 2009)
Myrmicinae	<i>Acromyrmex crassispinus</i> Forel, 1909	Mata Atlântica	Parque Nacional dos Aparados da Serra	(DE ALBUQUERQUE ; DIEHL, 2009)
Ponerinae	<i>Hypoponera foreli</i> (Mayr, 1887)	Mata Atlântica	Parque Nacional dos Aparados da Serra	(DE ALBUQUERQUE ; DIEHL, 2009)
Myrmicinae	<i>Acromyrmex crassispinus</i> (Forel, 1909)	Pampa	Área com alta concentração de cobre (líquidos) e Reabilitação	(DIEHL et al., 2004)
Myrmicinae	<i>Acromyrmex lundii</i> (Guérin-Méneville, 1838)	Pampa	Área com alta concentração de cobre (rejeitos de minas, sólidos e líquidos), reabilitação e no Parque das Guaritas	(DIEHL et al., 2004)
Formicinae	<i>Camponotus punctulatus</i> Mayr, 1868	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)
Myrmicinae	<i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851)	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)
Myrmicinae	<i>Pheidole aberrans</i> Mayr, 1868	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)
Myrmicinae	<i>Pheidole breviseta</i> Santschi, 1919	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)
Myrmicinae	<i>Pheidole cavifrons</i> Emery, 1906	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)
Myrmicinae	<i>Pheidole obtusopilosa</i> Mayr, 1887	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)
Myrmicinae	<i>Strumigenys louisianae</i> (Roger, 1863)	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)
Myrmicinae	<i>Wasmannia auropunctata</i>	Pampa	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)

	(Roger, 1863)			
Ponerinae	<i>Anochetus neglectus</i> Emery, 1894	Pampa/Mata Atlântica	Campo nativo	(DRÖSE, 2015)

Esse estudo tem como premissa que as formigas subterrâneas podem auxiliar no entendimento de respostas da fauna de solo aos distúrbios gerados no solo dos Pampas, ocasionados pela atividade de pastejo do gado. O subpastejo e o superpastejo em geral são considerados nocivos à biodiversidade de ecossistemas campestres, tornando esses ambientes mais homogêneos. A redução da heterogeneidade influencia negativamente a riqueza e composição (perda) de espécies nos ambientes (PLANTUREUX et al., 2005; GARCÍA et al., 2008).

Desta forma, as formigas têm sido também apontadas como um grupo bastante promissor para a avaliação dos usos do solo em sistemas agrícolas e, principalmente em pastagens, visto que a intensificação de atividades altera a riqueza e composição da fauna de formigas (HOFFMANN, 2000, 2010; SCHMIDT; DIEHL, 2008). Além disso, ainda existem grandes lacunas de conhecimento sobre a influência do pastejo sob a fauna de formigas subterrâneas no bioma Pampa, assim como uma lacuna taxonômica sobre esta fauna deste bioma.

A hipótese deste trabalho é que há redução da riqueza de espécies e alteração das comunidades em áreas pastejadas em relação com a área de exclusão de pastejo, devido as diferenças dos atributos químicos do solo (JACQUEMIN et al., 2012).

### **3 OBJETIVO**

Descrever a fauna de formigas subterrâneas presente em áreas de pastagem nativa sob diferentes frequências de pastejo e sob área de exclusão do gado, determinando como as formigas subterrâneas respondem a esses distúrbios na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ALONSO, L. E. Ant Conservation: Current Status and a Call to Action. In: LACH, Lori; PARR, Catherine L.; ABBOTT, Kirsti L. (org.). **Ant ecology**. Oxford: Oxford University Press, 2010. (Oxford biology).E-book.
- ANDERSEN, A. N. et al. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 8–17, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00704.x>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ANDERSEN, A. N.; BRAULT, A. Exploring a new biodiversity frontier: subterranean ants in northern Australia. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], v. 19, n. 9, p. 2741–2750, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9874-1>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- ANTWIKI. In: 2020. Disponível em: <https://www.antwiki.org/wiki/Brazil>. Acesso em: 13 ago. 2020.
- BARBOZA, A. D. M. et al. Seasonal dynamics alter taxonomical and functional microbial profiles in Pampa biome soils under natural grasslands. **PeerJ**, 91, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.4991>. Acesso em: 24 abr. 2020.
- BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: PILLAR, Valério De Patta et al., (org.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. [S. l.: s. n.]. p. 13–25. 2009. E-book.
- BENCKE, G. A. Diversidade e conservação da fauna dos Campos do Sul do Brasil. In: **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. In: VALÉRIO DE PATTAPILLAR et al. (ed.). Brasília, DF: Ministro do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Conservação da Biodiversidade 2009. p. 101–121. E-book.
- BENCKE, G. A. et al. O que é o Pampa? In: **Nosso pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul: Luiza Chomenko, Glayson Ariel Bencke, 2016. E-book.
- BOLDRINI, I. L. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: VALÉRIO DE PATTAPILLAR et al. (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministro do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Conservação da Biodiversidade, 2009. p. 63–77. E-book.
- BOLTON, B. Formicidae. In: 2020. Disponível em: <https://antcat.org/>. Acesso em: 23 fev. 2020.
- CARVALHO, P. C. de F.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, [s. l.], v. 120, n. 1–2, p. 158–162, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.04.012>. Acesso em: 25 nov. 2019.

CARVALHO, J. dos S. et al. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 1131–1139, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900012>. Acesso em: 24 abr. 2020.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 1301–1309, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000026>

CRAWSHAW, D. et al. Caracterização dos campos Sul-Rio-Grandenses: uma perspectiva da ecologia da paisagem. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 33, p. 233-252, 2007. <http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/37437/24182>

CHOMENKO, L.; BENCKE (org.). **Nosso pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul: [s. n.], 2016.

CUISSI, R. G. et al. Ant community in natural fragments of the Brazilian wetland: species–area relation and isolation. **Journal of Insect Conservation**, v. 19, n. 3, p. 531–537, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9774-5>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CULLINEY, T. Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. **Agriculture**, p. 629–659, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture3040629>. Acesso em: 24 abr. 2020.

DA SILVA, C. V. C. et al. Effects of time-since-fire on ant-plant interactions in southern Brazilian grasslands. **Ecological Indicators**, 06094, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106094>

DE ALBUQUERQUE, E. Z. et al. Análise faunística das formigas epígeas (Hymenoptera, Formicidae) em áreas de cerrado. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 3, p. 398-403. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262009000300014>

DOMÍNGUEZ, A. et al. Soil macrofauna diversity as a key element for building sustainable agriculture in Argentine Pampas. **Acta Oecologica**, 2–116, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.08.012>

DRÖSE, W. **EFEITO DO PASTEJO SOBRE AS ASSEMBLEIAS DE FORMIGAS NOS CAMPOS SULINOS**. 53 f. 2015. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

DRÖSE, W. et al., Local and regional drivers of ant communities in forest-grassland ecotones in South Brazil: A taxonomic and phylogenetic approach. **PLOS ONE**, p. e0215310, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215310>

FERREIRA, N. R. et al. Reflexos Econômicos, Sociais E Ambientais Da Invasão Biológica Pelo Capim-Annoni. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 27, p. 47-70, 2010.

FOLGARAIT, Patricia J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. **Biodiversity and Conservation**, p. 1221–1244, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1008891901953>

FREIBERG, J. A. et al. Increased grazing intensity in pastures reduces the abundance and richness of ground spiders in an integrated crop-livestock system. **Agronomy for Sustainable Development**, p. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0604-0>. Acesso em: 11 mar. 2020.

GARCÍA, C. et al. Avifaunal changes as a consequence of large-scale livestock exclusion in the mountains of Central Argentina. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 351-360, 2008.

HASENACK, H. H. et al., **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia: [s. n.], 2010. E-book.

HOFFMANN, B. Changes in ant species composition and community organisation along grazing gradients in semi-arid rangelands of the Northern Territory. **The Rangeland Journal**, p. 171, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/RJ0000171>. Acesso em: 10 abr. 2020.

HOFFMANN, B. D. Using ants for rangeland monitoring: Global patterns in the responses of ant communities to grazing. **Ecological Indicators**, p. 105–111, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.016>. Acesso em: 10 abr. 2020.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The Ants**. Cambridge, Mass. Harvard University Press.: [s. n.], 1990.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 25 jan. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso em: 25 mai. 2020.

JACQUEMIN, J. et al. Soil properties only weakly affect subterranean ant distribution at small spatial scales. **Applied Soil Ecology**, 3–169, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.08.008>. Acesso em: 29 fev. 2020.

KASPARI, M. Introducción a la ecología de las hormigas. In: FERNANDEZ, F. (org.). **Introducción a las hormigas de la región neotropical**. Bogotá: Institute de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humboldt, 2003. E-book.

KUINCHTNER, A. et al. Clima do estado do rio grande do sul segundo a classificação climática de köppen e thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Exatas, S. Maria, v.2, n.1, p.171-182, 2001.

LATTKE, J. E. Estado da arte sobre a taxonomia e filogenia de Ponerinae do Brasil. In: DELABIE, J. H. C. et al. (org.). **As formigas poneromorfas do Brasil**. Ilhéus, Bahia: EDITUS, Editora da UESC, 2015. E-book.

- LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, –S15, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 654p.
- LEWINSOHN, T.M. 2006. Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, v. 2, 2006.
- LUCKY, A. et al., Tracing the Rise of Ants - Out of the Ground. **PLoS ONE**, p. e84012, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084012>
- LITRE, G.; BURSZTYN, M. Percepções e adaptação aos riscos climáticos e socioeconômicos na pecuária familiar do bioma Pampa. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 55–80, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC668V1832015>. Acesso em: 11 maio 2020.
- MADZARIC, S. et al. Organic vs. organic – soil arthropods as bioindicators of ecological sustainability in greenhouse system experiment under Mediterranean conditions. **Bulletin of Entomological Research**, [s. l.], v. 108, n. 5, p. 625–635, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007485317001158>. Acesso em: 5 nov. 2020.
- MAPBIOMAS. In: 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/como-faco-para-citar-os-dados-do-mapbiomas>. Acesso em: 18 out. 2020.
- MARCHI, M. M. et al. Flora herbácea e subarbustiva associada a um ecossistema de butiazal no Bioma Pampa. **Rodriguésia**, p. 553–560, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869221>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- NABINGER, C. et al. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: VALÉRIO DE PATTA PILLAR *et al.* (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Conservação da Biodiversidade, 2009.
- OVERBECK, G. et al., Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. Perspectives in Plant Ecology, **Evolution and Systematics**, p. 101–116, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.07.005>
- PILLAR, V. D. P. *et al.* Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: OVERBECK, G. E. *et al.* (ed.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Valério De Patta Pillar Sandra Cristina Müller Zélia Maria de Souza Castilhos Aino Victor Ávila Jacques, 2009.
- PLANTUREUX, S. Et al. Biodiversity in intensive grasslands: Effect of management, improvement and challenges. **Agronomy Research**, v. 3, p. 153-164, 2005.
- PODGAISKI, Luciana Regina; OTT, Ricardo; GANADE, Gislene. Ocupação de microhabitats artificiais por invertebrados de solo em um fragmento florestal no sul do Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, p. 10, 2007.

PRATHER, C. M. et al. Invertebrates, ecosystem services and climate change: Invertebrates, ecosystems and climate change. **Biological Reviews**, p. 327–348, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/brv.12002>. Acesso em: 17 maio. 2020.

QUADROS, F. L. F. et al. Utilizando a racionalidade de atributos morfogênicos para o pastoreio rotativo: experiência de manejo agroecológico em pastagens naturais do Bioma Pampa. **Cadernos de Agroecologia/Revista Brasileira de Agroecologia**, 16/7020, 2011.

READ, J. L.; ANDERSEN, A. N. The value of ants as early warning bioindicators: responses to pulsed cattle grazing at an Australian arid zone locality. **Journal of Arid Environments**, v. 45, n. 3, p. 231–251, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0634>. Acesso em: 10 abr. 2020.

RIBAS, C. R. et al. Ants as Indicators in Brazil: A Review with Suggestions to Improve the Use of Ants in Environmental Monitoring Programs. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2012, p. 1–23, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2012/636749>. Acesso em: 10 abr. 2020.

RYDER WILKIE, K. T.; MERTL, A. L.; TRANIELLO, J. F. A. Species Diversity and Distribution Patterns of the Ants of Amazonian Ecuador. **PLoS ONE**, v. 5, n. 10, p. e13146, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013146>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ROESCH, L. F. W. et al. The Brazilian Pampa: A Fragile Biome. **Diversity**, p. 182–198, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d1020182>

ROSADO, J. L. O. et al. Effect of climatic variables and vine crops on the epigeic ant fauna (Hymenoptera: Formicidae) in the Campanha region, state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Insect Conservation**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 1113–1123, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9592-6>. Acesso em: 21 maio 2020.

Santos, E. C. et al. Inventários de borboletas no Brasil: estado da arte e modelo de áreas prioritárias para pesquisa com vistas à conservação. **Natureza & Conservação**, v. 6, p. 68-9, 2008.

SCHMIDT, F. A.; DIEHL, E. What is the effect of soil use on ant communities? **Neotropical Entomology**, p. 381–388, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000400005>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SEGAT, J. C. et al. Ants as indicators of soil quality in an on-going recovery of riparian forests. **Forest Ecology and Management**, 38–343, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.038>. Acesso em: 28 abr. 2020.

SILVA, R. R. da; BRANDÃO, C. R. F. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) como indicadores da qualidade ambiental e da biodiversidade de outros invertebrados terrestres. **biotemas**, v. 12, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/%25x>

SILVA, R. R.; SILVESTRE, R. Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) que habita as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina. **Papéis Avulsos de Zoologia** (São Paulo), 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0031-10492004000100001>. Acesso em: 17 mar. 2020.

SILVESTRE, R. **Estrutura de comunidades de formigas do Cerrado**. 2000. Doutorado em Entomologia - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.59.2000.tde-23012002-104948>. Acesso em: 28 maio. 2020.

STEFFEN, G. P. K. et al., Earthworm diversity in Rio Grande do Sul, **Brazil**. **Zootaxa**, 1, p. 562, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4496.1.43>

VALMORBIDA, I. et al., Population analysis of white grubs (Coleoptera: Melolonthidae) throughout the Brazilian Pampa biome. **Revista Brasileira de Entomologia**, p. 275–282, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2018.08.002>

WAGG, C. et al., Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 4, p. 5266–5270, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>

WONG, M. K. L; GUÉNARD, B. Subterranean ants: summary and perspectives on field sampling methods, with notes on diversity and ecology (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 25, p. 1-16, 2017.

ZAFALON-SILVA, Â. et al. Houseflies speaking for the conservation of natural areas: a broad sampling of Muscidae (Diptera) on coastal plains of the Pampa biome, Southern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, p. 292–303, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2018.09.002>

## **ARTIGO<sup>1</sup>: COMUNIDADE DE FORMIGAS SUBTERRÂNEAS EM UMA ÁREA DE PASTEJO NO BIOMA PAMPA.**

### RESUMO

O bioma Pampa possui uma das maiores diversidades de vegetação majoritariamente campestre, muitas consideradas endêmicas, localizado na região sul do Brasil, tendo continuidade no Uruguai e Argentina. A presença deste tipo de vegetação contribuiu para a consolidação da pecuária bovina como principal atividade de exploração destas áreas de campo nativa. No entanto, quando mal manejada, com elevada pressão de pastejo, se torna o principal impulsionador da degradação do solo. Esse tipo de degradação ambiental é uma das principais ameaças ao bioma Pampa. A mirmecofauna subterrânea pode auxiliar no entendimento dos efeitos dessa prática agrícola para o ambiente, por serem organismos sensíveis às mudanças do ambiente. O objetivo deste trabalho foi conhecer a fauna de formigas subterrâneas influenciada pelo pastejo em uma área de pastagem nativa. O estudo foi realizado em uma área de pastagem nativa pertencente à Universidade Federal de Santa Maria e localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Os tratamentos da área foram intervalos de pastejo definidos por duas somas térmicas 375 e 750 graus-dias (GD) que determinam o manejo do gado e uma área de exclusão na divisa dos dois tratamentos. Para a coleta do material biológico foi utilizada a metodologia do mini-Winkler. No total foram amostrados 180 pontos, distribuídos em 30 piquetes e 15 plotes na área de exclusão. Como resultado obteve-se 64 espécies pertencentes a 19 gêneros e cinco subfamílias. Verificou-se que a maior ocorrência foi dos gêneros: *Pheidole* Westwood, 1839, *Wasmannia* Forel, 1893, *Solenopsis* Westwood, 1840, *Brachymyrmex* Mayr, 1868 *Hypoconerina* Santschi, 1938 e *Typhlomyrmex* Mayr, 18862. E que dentre as 64 espécies

---

<sup>1</sup>Artigo nas normas da Revista Applied Soil Ecology

coletadas na área de pastagem nativa, somente 14 espécies são indicadoras das áreas em que foram coletadas. A riqueza de espécies apresentou diferença entre as áreas de estudo, porém a área de exclusão abriga a maioria dessa riqueza. As espécies predominantes no tratamento 375 GD foram *Acromyrmex nr. lundii*, *Typhlomyrmex major*, *Strumigenys nr. louisianae* sp.1, *Strumigenys denticulata*, para o tratamento 750 GD foram *Carebara* sp.1, *Hypoponera* sp.5, *Pheidole breviseta*, *Pheidole* sp.3, *Typhlomyrmex pusillus*, *Typhlomyrmex* sp.1 e por fim, área de exclusão foram *Acromyrmex crassispinus*, *Ochetomyrmex semipolitus* e *Rasopone ferruginea*. A presença dos elementos Al<sup>3+</sup>, S e pH influenciou diretamente a riqueza de espécies. A composição de espécies é igual entre os tratamentos 375 GD e 750 GD, porém diferente quando comparado a área de exclusão, tendo algumas espécies relacionadas aos elementos do solo. Em áreas de pastagens nativa com rotação do gado a riqueza e composição de espécies de formigas é afetada e diferente da área que há a exclusão do gado.

Palavras-chave: Fauna do solo, Hymenoptera, riqueza de espécies, bioma Pampa.

UNDERGROUND ANTS COMMUNITY IN A NATIVE FIELD AREA

ABSTRACT

The Pampa biome has one of the greatest diversity of grasslands vegetation, many considered endemic, extending from southernmost of Brazil to Uruguay and Argentina. The presence of this type of vegetation contributed to the consolidation of cattle ranching as the main activity for exploring these areas of native countryside. However, when poorly managed, with high grazing pressure, it becomes the main driver of soil degradation. This type of environmental degradation is one of the main threats to the Pampa biome. The subterranean ant fauna can help in understanding the effects of this agricultural practice for the environment, as they are organisms sensitive to changes in the environment. The aim of this work was to survey the underground ant fauna influenced by grazing in an area of native pasture to understand how grazing pressure affects subterranean biodiversity. The study was carried out in a native pasture area belonging to the Federal University of Santa Maria and located in the physiographic region of the Central Depression of Rio Grande do Sul. The treatments of the area were grazing intervals defined by two thermal sums 375 and 750 degree-days (GD) that determine livestock management and an exclusion area on the border of the two treatments. In total, 180 points were sampled and distributed in 30 paddocks and 15 plots in the exclusion area. As a result, 64 species belonging to 19 genera and five subfamilies were obtained. The ant genera most recorded were *Pheidole* Westwood, 1839, *Wasmannia* Forel, 1893, *Solenopsis* Westwood, 1840, *Brachymyrmex* Mayr, 1868, *Hypoponera* Santschi, 1938 and *Typhlomyrmex* Mayr, 18862. Among the 64 species recorded in the grassland, only 14 species are indicative of these areas. Species richness differed between areas, but the exclusion area is home to most of this biodiversity. The predominant species in the 375 GD treatment were *Acromyrmex* nr. *lundii*, *Typhlomyrmex major*, *Strumigenys* nr. *louisianae* sp.1, *Strumigenys denticulata*, while for the 750 GD treatment were *Carebara* sp.1, *Hypoponera* sp.5, *Pheidole breviseta*, *Pheidole* sp.3, *Typhlomyrmex pusillus*, *Typhlomyrmex* sp.1; the exclusion area were

characterized by the occurrence of *Acromyrmex crassispinus*, *Ochetomyrmex semipolitus* and *Rasopone ferruginea*. The presence of the elements  $Al^{3+}$ , S and pH influenced richness of subterranean ants. The species composition was similar between treatments 375 GD and 750 GD, but dissimilar when compared to the exclusion area, with some species related to soil elements. Our results contribute to the knowledge of the subterranean species that occur in the Pampa biome and expand the current knowledge about subterranean ant species. In areas of native pasture with rotation of cattle, the richness and composition of subterranean ant species is affected and different from areas that does not exclude cattle.

Keywords: Soil fauna, Hymenoptera, species richness, Pampa biome.

## 1. Introdução

Localizado no estado do Rio Grande do Sul, o bioma Pampa é um ambiente campestre tendo apenas 65,474 km<sup>2</sup> de cobertura nativa [1]. A conversão das pastagens naturais em outros usos e a escassez de unidades de conservação, ameaça esse ecossistema que apresenta rica biodiversidade, correndo sérios riscos de desaparecer [2–4], o que levaria a extinção de muitas das espécies da fauna e flora endêmicas deste bioma [4].

A pecuária é o setor agrícola que mais cresce nos países em desenvolvimento [5], quando não manejado é apontado como o principal promotor do processo da degradação dos ambientes de pastagem [6]. Com isso, a perda da biodiversidade dessas áreas é iminente, sendo assim um fator que merece atenção, pela redução do funcionamento de serviços ecossistêmicos [7,8].

Nos estudos relacionados às alterações neste bioma pelas ações antrópicas, os insetos são bastante promissores e utilizados como indicadores biológicos para a avaliação das modificações em áreas de campos nativos. Estes organismos respondem às alterações no ecossistema e são vulneráveis às variações no ambiente provocadas por distúrbios antrópicos [9]. Neste sentido, entre os organismos do solo, as formigas, por exemplo compõem um dos grupos com grande importância ecológica.

Para avaliações sobre alterações nos ecossistemas, as formigas são bastante utilizadas em trabalhos na Austrália para quantificar os impactos na biodiversidade e nas funções dos ecossistemas causados pelas atividades agrícolas, como a pecuária [10]. Formigas são particularmente excelentes indicadores biológicos de alterações no ambiente porque interagem com uma ampla diversidade de plantas e animais [11]. Logo, alterações em sua distribuição local e regional produzem modificações nas funções dos ecossistemas, incluindo transporte de nutrientes e dispersão de sementes [12].

Especificamente, o estudo da fauna de formigas subterrâneas tem sido apontado como um dos segmentos da fauna com grande potencial para descrever novas espécies [13–15]. Além disso, essas formigas são consideradas última fronteira para avaliação da diversidade de formigas que existe nos solos de todos os ecossistemas da Terra [16,17]. Para estes organismos, os atributos do solo são importantes variáveis determinando a diversidade e composição de formigas, já que uma significativa parte das espécies utilizam o solo para a construção ninhos [18]. Como observado por Boulton et al. [18] as formigas preferem solos mais argilosos por favorecerem a construção de túneis e conseqüentemente, promovem a retenção de água, por exemplo. Solos que têm algum nível de compactação, ainda que nas camadas superficiais, determina mudanças significativas da fauna de formigas subterrâneas [19].

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a comunidade de formigas subterrâneas em sistema de diferentes pressões de pastejo e verificar o efeito das frequências de pastejo sobre a riqueza e composição de espécies, além de buscar potenciais características do solo para explicar esses padrões da fauna de uma área de pastagem nativa no bioma Pampa.

## **2. Métodos**

### *2.1. Área experimental*

O estudo foi realizado no período de fevereiro e março de 2019 em uma área de pastagem nativa pertencente à Universidade Federal de Santa Maria e localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul (29°43'29,97"S, 53°45'36,91"W) (Figura 1). O clima da região é caracterizado como Cfa, subtropical úmido conforme a classificação de Köppen [20].

Na área de estudo há predominância de duas classes de solos que foram classificados como: Planossolo Háptico Eutrófico, situado nas áreas de baixada do experimento e Argissolo Vermelho Distrófico nas demais áreas dispostas no topo e encosta da área [21]. Durante a execução das coletas as médias das temperaturas mínimas e máximas variaram de 17,0 °C e 28,0 °C, respectivamente.

A área experimental possui no total de 23 ha e está dividida em seis unidades experimentais, os quais alocaram dois tratamentos e três repetições de área (Figura 1). Os dois tratamentos na área são intervalos de pastoreio em Graus-dias (GD) que são definidas pelas somas térmicas de 375 e 750 GD, onde estabeleceram a duração de crescimento foliar e desta forma os intervalos entre os pastoreios. Para o tratamento 375 GD, as repetições estão subdivididas em seis piquetes para a rotação dos animais e no tratamento 750 GD as áreas estão divididas em oito piquetes, totalizando 42 piquetes de 0,5 ha cada.

Esses tratamentos levam em consideração a resposta fisiológica das plantas para cada tratamento e máxima produção de parte aérea das plantas que são oferecidas ao gado [22]. Dentro da área experimental existe uma área de exclusão na divisa dos dois tratamentos, onde há supressão do pastejo de gado por mais de 15 anos.

O mapa da área de estudo foi realizado através da marcação de pontos utilizando o GPSMAP Garmin 76CSx e a partir disso, a utilização de dados (shapefiles) disponíveis pelo [23] e uso do programa Qgis v. 3.4.10 (Figura 1).

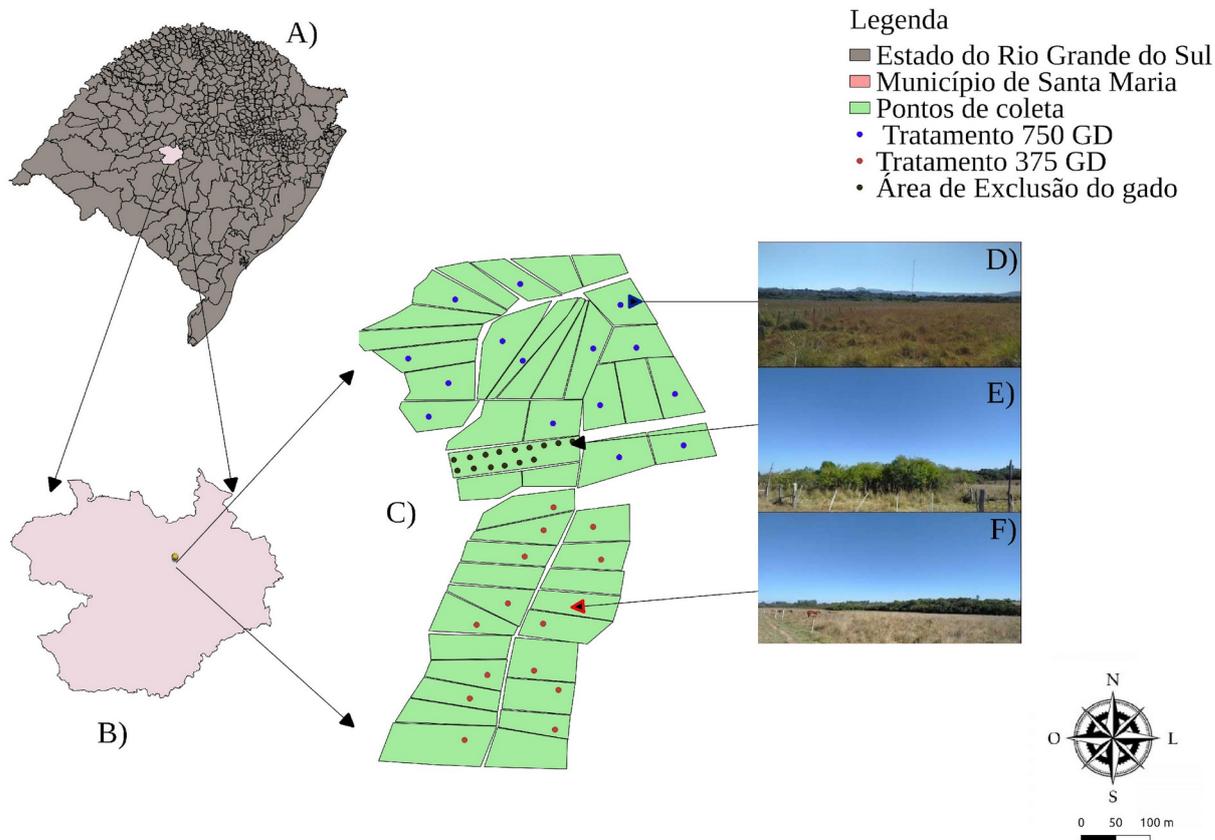


Fig. 1. Mapas de (A) localização da cidade de Santa Maria dentro do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, (B) mapa da cidade de Santa Maria e indicação da área experimental, (C) disposição dos tratamentos dentro da área experimental e pontos de amostragens. Imagens da vegetação nas áreas de coletas, (D) no tratamento 750 Graus-dias, (E) área de exclusão e (F) tratamento 375 Graus-dias, situada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Rio Grande do Sul, Brasil.

## 2.2. Descrição dos ambientes

Na área de estudo tem-se variação visíveis na estrutura de vegetação (Figura 2). Na área onde há exclusão do gado, há formação arbustiva e conseqüentemente um ambiente mais complexo no sentido estrutural ter múltiplos microhabitats. Nos tratamentos em Graus-dias (GD), temos grupos funcionais de vegetação diferentes para cada pressão de pastejo. Contudo, o tratamento 375 GD é composto em sua maioria por espécies prostradas, estoloníferas ou rizomatosas, adaptadas a pastejo mais intensos e frequentes. Já, o tratamento 750 GD é dominado por espécies que formam touceiras densas, com grande acúmulo de material senescente [22].

### *2.3. Delineamento amostral*

Na área experimental foram definidos cinco piquetes de cada repetição de área (topo, encosta e baixada) para os dois tratamentos. Em cada piquete foi definido uma distância mínima de 15 metros da borda dos tratamentos e realizado um quadrado de 20x20 metros entre os pontos amostrais. As coletas foram dentro dos vértices do quadrado, sendo coletado no total de 30 piquetes, sendo 15 piquetes de cada tratamento e 15 parcelas na área de exclusão, totalizando 180 amostras.

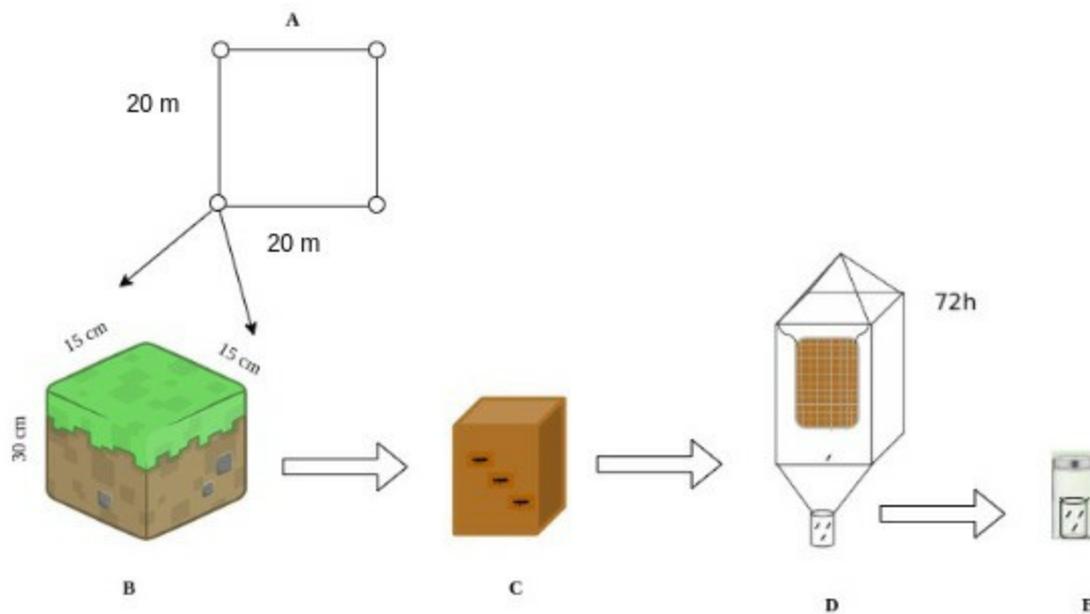
### *2.4. Coleta da fauna de formigas do solo*

Para este trabalho foram utilizados extratores de fauna do tipo mini-Winkler [24]. Essa técnica tem sido sugerida pela literatura como mais recomendado para a extração da fauna de formigas subterrâneas, porque inviabiliza perdas e possível fugas do material biológico coletado [13,25].

Para coleta das amostras de solo, o seguinte protocolo de coleta foi adotado: (i) marcações foram feitas dentro do piquete e a superfície do solo foi limpada para evitar eventual contaminação por organismos que estão na superfície do solo; (ii) a extração do solo foi realizada com o auxílio de uma cavadeira articulada com cabo nas dimensões de 15 cm x 15 cm; (iii) o solo coletado foi delimitado pelas seguinte dimensão: 15 cm x 15 cm x 30 cm (comprimento x largura x profundidade) (Figura 2); (iv) as amostras de solo coletadas foram peneiradas através de uma malha de 1 cm e foram então transferidas para extratores mini-Winkler para separar o material de interesse (Figura 2).

O material biológico foi triado vivo em bandejas de plásticos, ou seja, os organismos que caíram dentro do copo de plástico que continha uma esponja úmida, foram retirados depois de três horas e seguido de intervalos de 12 horas. As amostras de solo foram mantidas

no mini-Winkler durante 72 horas. O material foi triado para o grupo de interesse, sendo separado apenas as formigas de outros organismos e transferidas para frascos contendo álcool 96% e devidamente identificados para posterior identificação em estereoscópio binocular Leica S6D no aumento de 40x.



**Fig. 2.** Protocolo da amostragem da fauna de formigas utilizando o método do mini-Winkler. (A) desenho esquemático da coleta realizada dentro do piquete, (B) dimensões de solo utilizadas para a coleta da mimercofauna, (C) solo sem a camada vegetal, (D) mini-Winkler montado para a extração do material biológico e (E) etapa final de triagem e armazenamento em frasco devidamente identificados.

As formigas inicialmente foram morfoespeciadas em álcool com auxílio da chave dicotômica [26]. Posteriormente, o material foi montado até dois indivíduos de cada amostra para ser identificado a nível específico quando possível.

A confirmação do material foi realizada no Laboratório de Sistemática e Biologia de Formigas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), onde especialistas ajudaram na identificação e confirmação das espécies (Dr. Alexandre C. Ferreira, Mcs. Mila F. O. Martins e Dr. Thiago S. R. da Silva). Quando não foi possível se chegar ao nome da espécie, foi mantido a morfoespeciação. O material em via seca será depositado no Museu Paraense

Emílio Goeldi (MPEG) e parte do material em via úmida serão depositados no MPEG e Laboratório de Sistemática e Biologia de Formigas.

## 2.5. *Propriedades do solo*

Neste trabalho utilizou-se o solo que foi retirado do mini-Winkler. O mesmo foi armazenado em sacos plásticos e devidamente identificados. Determinando-se as propriedades químicas e física do solo, seguindo a metodologia de Tedesco et al. [27].

As propriedades químicas determinadas foram, potencial hidrogeniônico em água na proporção 1:1 (solo:água), Fósforo (P) e Potássio ( $K^+$ ) extraído por Mehlich<sup>-1</sup>, porém determinado por colorimetria e em fotômetro de chama respectivamente, Matéria orgânica (M.O) determinada por digestão sulfocrômica pelo método Walkley & Black, Cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) extraídos por KCl 1 M e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica, Alumínio ( $Al^{3+}$ ) extraído por KCl 1 M e determinado por titulação com NaOH 0,0125 M, Acidez potencial ( $H + Al^{3+}$ ) foi estimado a partir do índice SMP, a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) efetiva foi calculada com a soma dos elementos  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Al^{3+}$ , para CTC potencial foi calculada a partir dos elementos  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Al^{3+} + H^+$ , Cobre ( $Cu^{2+}$ ) e Zinco (Zn) foram extraído por Mehlich<sup>-1</sup> e determinado em espectrofotômetro de absorção atômica, Enxofre (S) é extraído por fosfato de cálcio (500 mg L<sup>-1</sup> de P) e determinado por turbidimetria e o Boro (B) foi extraído com água quente e determinado por colorimetria com curcumina. A propriedade física determinada foi argila por determinação por decímetro após dispersão com NaOH 0,167M.

## 2.6. Análises estatísticas

### 2.6.1. Dados da Comunidade de formigas

Os dados gerados da comunidade de formigas, compuseram uma matriz com as informações de ocorrência de espécies para cada área amostrada dos tratamentos e área de exclusão. Este banco de dados foi organizado em ocorrência das espécies no formato de presença ou ausência.

Para a verificação da suficiência amostral, realizou-se a curva de acumulação das espécies coletadas em cada tratamento e área de exclusão, utilizando o pacote *vegan* [33]. A estimativa da riqueza de espécies e área coletada foi utilizada a média da riqueza de espécies amostradas.

### 2.6.2. Dados do solo

Os dados de composição química e física do solo foram inicialmente visualizados graficamente, através de matrizes de correlação entre as variáveis preditoras, com o objetivo de identificar e selecionar variáveis colineares, bem como dados discrepantes [28]. Variáveis do solo que apresentaram alta correlação ( $|r|$  maior ou igual a 0.7) foram excluídas das análises, desta forma mantendo-se Argila,  $Al^{+3}$ , B, potencial hidrogeniônico (pH),  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$ , M.O, S e Zn, porque estas variáveis apresentam baixa colinearidade.

Do número total das 22 variáveis analisadas, nove foram selecionadas para análises subsequentes: Argila,  $Al^{+3}$ , B, potencial hidrogeniônico (pH),  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$ , M.O, S e Zn (Anexo 1).

### 2.6.3. Riqueza de formigas na área de pastagem e relação entre as frequências de pastejo e seu efeito na riqueza das espécies.

Para investigar a riqueza de formigas nos tratamentos e na área de exclusão foi utilizado o modelo lineares generalizados (GLMs) [28]. Riqueza de formigas foi a variável resposta; variáveis preditoras foram as nove variáveis de solo, tratamento (375, 750 GD e exclusão) e relevo (encosta, topo e baixada). Utilizamos uma distribuição de Poisson no modelo e seguimos a validação do modelo segundo o protocolo gráfico de Zuur et al. [28]. O modelo foi então submetido a uma seleção de modelos de AICc [29] utilizando a função “dredge” do pacote MuMIn [30].

### 2.6.4 Indicador de espécies

O índice de espécies foi pela associação das espécies de formigas subterrâneas e tratamentos (375 e 750 GD) e área de exclusão em que foram coletadas, desta forma identificando quantas e quais espécies de formigas subterrâneas são indicadoras do ambiente de estudo. Para isto, utilizamos o método Valor Indicador (IndVal) [31]. Utilizamos a função “multipatt” do pacote *indicspecies* [32].

### 2.6.5 Composição de espécie e efeito das variáveis do solo

Para avaliar a relação da composição de espécies de formigas e o efeito das variáveis do solo foi utilizado uma análise multivariada de permutação (PERMANOVA), através da função “adonis” do pacote *vegan* [33]. A composição de espécies foi a variável resposta; variáveis preditoras foram as nove variáveis de solo, tratamento (750, 375 GD e exclusão) e

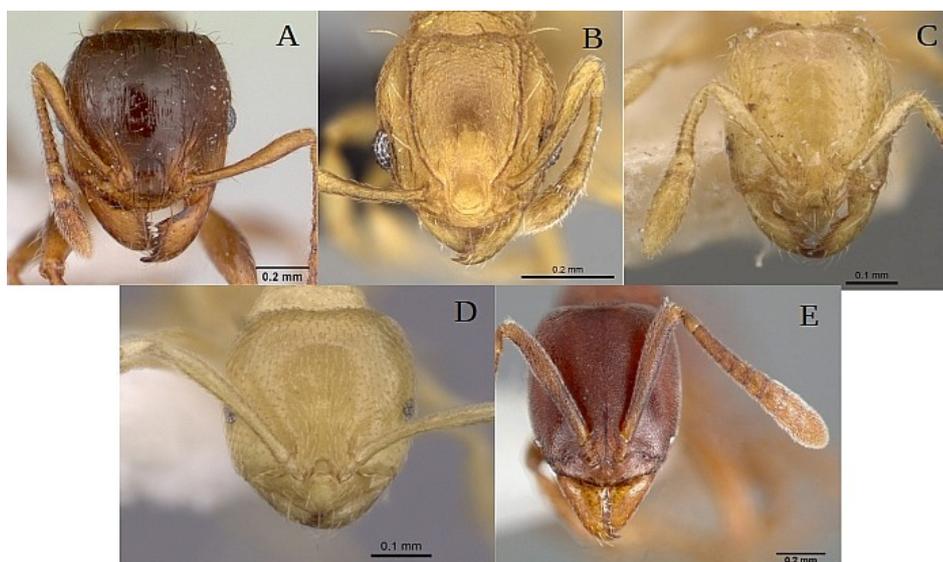
relevo (encosta, topo e baixada). Utilizou-se a matriz de comunidade para a ordenação, e empregou-se o índice de similaridade Jaccard [33]. Para a visualização gráfica, utilizamos a ordenação gerada por uma análise de redundância (RDA), através da função “rda” do pacote *vegan* [34].

Todas as análises foram realizadas, utilizando-se o software R versão 4.0.0 [35] e as figuras foram geradas através do pacote *ggplot2* [36].

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Riqueza de Formigas

Neste estudo, nas áreas de exclusão, 375 e 750 graus dias (GD) de pastejo, coletou-se 4.950 indivíduos, pertencentes a 64 espécies, 19 gêneros e cinco subfamílias. Myrmicinae foi a subfamília com o maior número de espécies 36 (56,3% das espécies), seguida de Ponerinae com 16 espécies (25%), Formicinae com oito espécies (12,5%), Ectatomminae com três espécies (4,7%) e Dolichoderinae com uma espécie (1,5%). Os gêneros com maiores números de ocorrências foram *Pheidole* Westwood, 1839, *Wasmannia* Forel, 1893, *Solenopsis* Westwood, 1840, *Brachymyrmex* Mayr, 1868 *Hypoponera* Santschi, 1938 e *Typhlomyrmex* Mayr, 1862 com 44, 39, 38, 31 e 29 respectivamente (Figura 3).



**Fig. 3.** Imagens de cada gênero de formiga mais representativo coletadas na área de pastagem nativa coletadas com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os gêneros na imagem são representados por (A) *Pheidole*, (B) *Wasmannia*, (C) *Solenopsis*, (D) *Brachymyrmex*, (E) *Hypoconera*.

Fonte: Antweb (2020).

O número de espécies de formigas observadas por tratamento foi 40, 36 e 54 espécies para os tratamentos 375 GD, 750 GD e para a área de exclusão, respectivamente representado na Tabela 1. Quatro espécies foram exclusivas do tratamento 375 GD: *Acromyrmex nr. lundii*, *Typhlomyrmex major* Santschi, 1923, *Strumigenys nr. louisianae* sp.1, *Strumigenys denticulata* Mayr, 1887. O tratamento 750 GD foi caracterizado por seis espécies exclusivas: *Carebara* sp.1, *Hypoconera* sp.5, *Pheidole breviseta* Santschi, 1919, *Pheidole* sp.3, *Typhlomyrmex pusillus* Emery, 1894, *Typhlomyrmex* sp.1. Finalmente, três espécies foram encontradas exclusivamente na área de exclusão: *Acromyrmex crassispinus* (Forel, 1909), *Ochetomyrmex semipolitus* Mayr, 1878 e *Rasopone ferruginea* (Smith, 1858) na Tabela 1.

As espécies mais frequentes no tratamento 375 GD foram *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863), *Pheidole cavifrons* Emery, 1906, *Solenopsis* sp.3 na Tabela 1. No tratamento 750 GD, as espécies mais frequentes foram *Pheidole cavifrons* Emery, 1906 e *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863). A área de exclusão foi caracterizada pela alta ocorrência de *Pheidole cavifrons* Emery, 1906, *Solenopsis* sp.3, *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863), *Solenopsis* sp.4 e *Tranopelta gilva* Mayr, 1866 na Tabela 1.

### Tabela 1

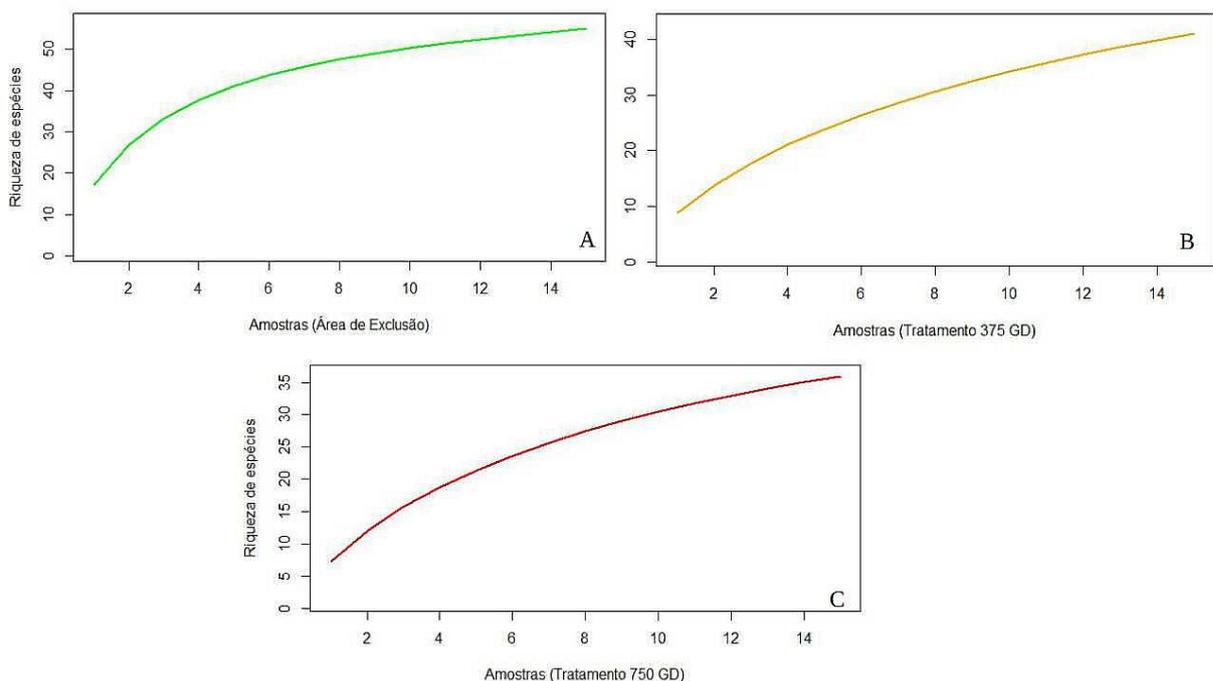
Lista de espécies de formigas coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no estilo de presença (x) ou ausência de ocorrência. Tipos de manejo por pastejo: 375 Graus-Dias , 750 Graus-Dias e Exclusão (E) em uma área de pastagem no campus da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

ESPÉCIES	TRATAMENTOS		
	375 GD	750 GD	E
<b>Dolichoderinae</b>			
<i>Tapinoma atriceps</i> Emery, 1888		X	X
<b>Ectatomminae</b>			
<i>Typhlomyrmex major</i> Santschi, 1923	X		
<i>Typhlomyrmex pusillus</i> Emery, 1894		X	
<i>Typhlomyrmex</i> sp.1		X	
<b>Formicinae</b>			
<i>Acropyga decedens</i> (Mayr, 1887)	X	X	X

<i>Acropyga goeldii</i> Forel, 1893	X	X	X
<i>Brachymyrmex</i> sp.1	X	X	X
<i>Brachymyrmex</i> sp.2	X	X	X
<i>Brachymyrmex</i> sp.3			X
<i>Brachymyrmex</i> sp.4	X	X	X
<i>Camponotus</i> (gr <i>punctulatus</i> ) sp.1	X		
<i>Nylanderia</i> sp.1	X	X	
<b>Myrmicinae</b>			
<i>Acromyrmex crassispinus</i> (Forel, 1909)			X
<i>Acromyrmex</i> nr. <i>lundii</i>	X		
<i>Carebara</i> sp.1		X	X
<i>Cyphomyrmex</i> nr. <i>minutus</i>	X		X
<i>Cyphomyrmex</i> nr. <i>rimosus</i>			X
<i>Ochetomyrmex semipolitus</i> Mayr, 1878			X
<i>Pheidole aberrans</i> Santschi, 1919		X	X
<i>Pheidole</i> nr. <i>diligens</i>	X	X	X
<i>Pheidole breviseta</i> Santschi, 1919	X	X	X
<i>Pheidole cavifrons</i> Emery, 1906	X	X	X
<i>Pheidole</i> nr. <i>obtusopilosa</i>	X	X	X
<i>Pheidole</i> nr. <i>synarmata</i>	X		X
<i>Pheidole fracticeps</i> Wilson, 2003			X
<i>Pheidole humeridens</i> Wilson, 2003	X	X	X
<i>Pheidole</i> sp.1			X
<i>Pheidole</i> sp.2	X		X
<i>Pheidole</i> sp.3	X	X	
<i>Pheidole</i> sp.4	X		X
<i>Pheidole</i> sp.5	X	X	X
<i>Pheidole</i> sp.6	X	X	X
<i>Pheidole</i> sp.7			X
<i>Rogeria bruchi</i> Santschi, 1922		X	X
<i>Solenopsis</i> sp.1	X		X
<i>Solenopsis</i> sp.2	X		X
<i>Solenopsis</i> sp.3	X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp.4	X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp.5			X
<i>Solenopsis</i> sp.6	X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp.7			X
<i>Strumigenys denticulata</i> Mayr, 1887	X	X	X
<i>Strumigenys eggersi</i> Emery, 1890		X	X
<i>Strumigenys</i> nr. <i>louisiana</i> sp.1	X	X	X
<i>Strumigenys</i> nr. <i>louisiana</i> sp.2		X	X
<i>Tranopelta gilva</i> (Mayr, 1866)	X	X	X
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)	X	X	X
<i>Wasmannia</i> nr. <i>rochai</i>			X
<b>Ponerinae</b>			
<i>Anochetus neglectus</i> Emery, 1894			X
<i>Hypoponera foreli</i> (Mayr, 1887)			X
<i>Hypoponera opaciceps</i> (Mayr, 1887)	X	X	X
<i>Hypoponera</i> nr. <i>opaciceps</i>	X		

<i>Hypoponera</i> sp.1	X	X	X
<i>Hypoponera</i> sp.2			X
<i>Hypoponera</i> sp.3	X		X
<i>Hypoponera</i> sp.4	X		X
<i>Hypoponera</i> sp.5	X	X	X
<i>Hypoponera</i> sp.6	X		X
<i>Hypoponera</i> sp.7	X	X	X
<i>Hypoponera</i> sp.8		X	X
<i>Hypoponera</i> sp.9	X	X	X
<i>Hypoponera</i> sp.10		X	
<i>Hypoponera</i> sp.11			X
<i>Rasopone ferruginea</i> (Smith, 1858)			X

Analisando a curva de acumulação de espécies verifica-se aumento do número de espécies observadas nos tratamentos 375 e 750 GD, sendo necessário maior esforço amostral nessas áreas para que a curva se estabilizasse, já na área de exclusão percebe-se uma leve tendência na estabilização da curva, indicado na Figura 4. Verifica-se que entre os tratamentos e área de exclusão, a maior acumulação de espécies foi observada na área de exclusão (A) com 54 espécies de formigas, enquanto que no tratamento 375 e 750 GD foram observadas 40 e 36 espécies respectivamente.



**Fig. 4.** Curva de acumulação de espécies de formigas coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com o intervalo de confiança de 95%.

### 3.2. Espécies Indicadoras

Dentre as 64 espécies coletadas na área de pastagem nativa, somente 14 espécies (22%) mostraram estar associadas a área de exclusão, com níveis de indicação significativos na Tabela 2. Ao observar o ranqueamento das espécies veremos que *Wasmannia nr. rochai*, *Strumigenys nr. louisianae* sp.1, *Solenopsis* sp.6 e *Tranopelta gilva* foram as espécies que tiveram maior IndVal, com 68%, 67%, 65% e 64%, respectivamente representado na Tabela 2.

**Tabela 2**

Valor individual de indicação (IndVal) das espécies de formigas subterrâneas coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Espécies	Valor da indicação (IndVal %)	<i>p</i>	Ambiente indicado
<i>Brachymyrmex</i> sp.3	63	0,003	E
<i>Carebara</i> sp.1	52	0,045	E
<i>Hypoponera</i> sp.2	51	0,03	E
<i>Hypoponera</i> sp.7	60	0,007	E
<i>Hypoponera</i> sp.9	57	0,016	E
<i>Pheidole</i> sp.1	57	0,013	E
<i>Rogeria bruchi</i>	54	0,033	E
<i>Solenopsis</i> sp.6	65	0,003	E
<i>Solenopsis</i> sp.7	52	0,037	E
<i>Strumigenys denticulata</i>	54	0,035	E
<i>Strumigenys nr. louisianae</i> sp.1	67	0,003	E
<i>Strumigenys nr. louisianae</i> sp.2	52	0,036	E
<i>Tranopelta gilva</i>	64	0,003	E
<i>Wasmannia nr. rochai</i>	68	0,004	E

Abreviação: E: Área de exclusão

### 3.3. Riqueza da comunidade de formigas subterrâneas nas diferentes frequências de pastejo.

Entre os modelos concorrentes, os modelo mais parcimoniosos ( $\Delta AICc < 2$ ) explicando riqueza de formigas foram quatro modelos, todos eles contendo tratamento como umas das variáveis, além das variáveis do solo  $Al^{+3}$ , pH e S na Tabela 3 e Figura 5. O tratamento de exclusão apresentou maior número de espécies quando comparado aos demais tratamentos que possuem o manejo com o gado representado na Figura 5.

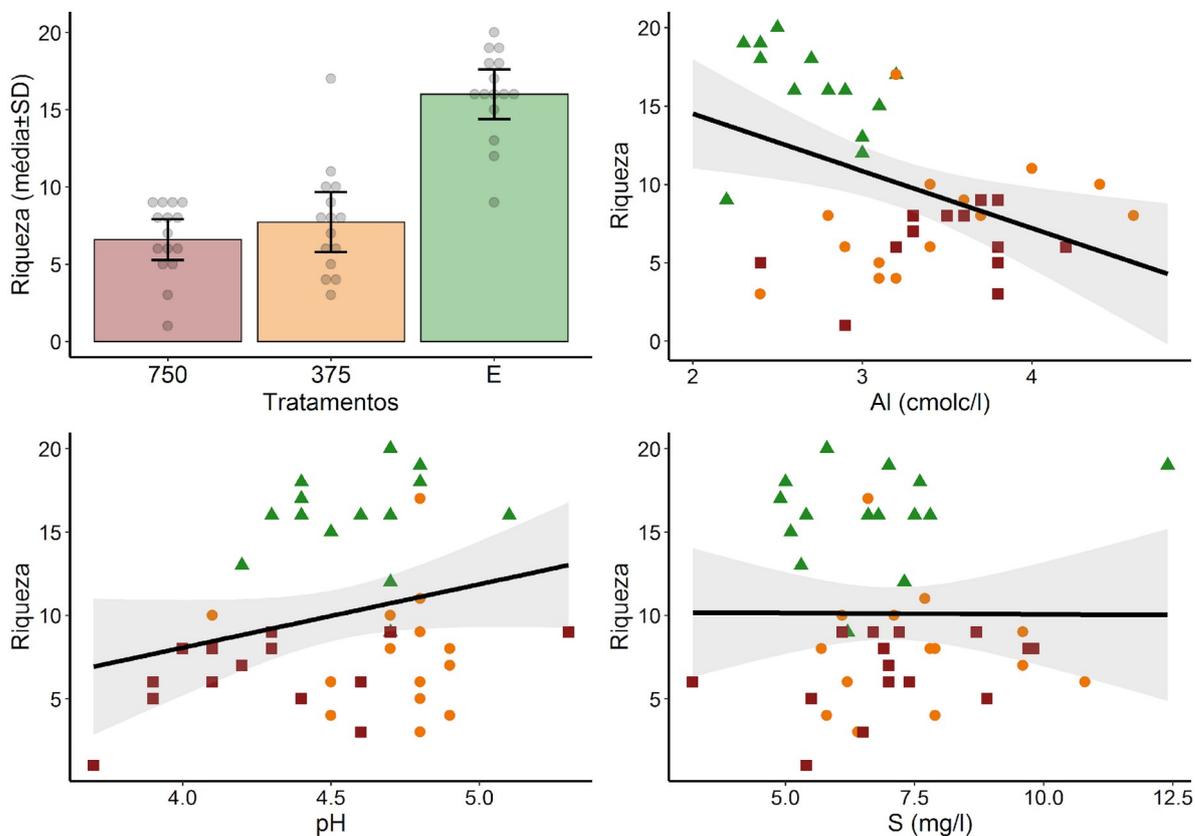
Podemos observar que a riqueza de espécies foi afetada pelos elementos  $Al^{+3}$ , pH e S. Na área de exclusão quanto menor os valores de  $Al^{+3}$  no solo, maior a riqueza de formigas. Nos tratamentos, os valores de  $Al^{+3}$  foram maiores, reduzindo a riqueza de espécies. A riqueza tende a crescer com o aumento do pH, dentro de uma faixa (4,4 e 5,0) na área de exclusão; dentro dessa mesma faixa, menor riqueza foi encontrada nos tratamentos. Um padrão para o elemento enxofre foi descrito: na faixa de 5,0 a 7,5 cmolc houve maior riqueza na área de exclusão, mas menor riqueza nos tratamentos representado na Figura 5.

#### **Tabela 3**

Resumo dos modelos de seleção das propriedades do solo que afetam a riqueza de espécies de formigas que foram coletadas na área de pastagem nativa com mini-Winkler no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Al= alumínio; pH= potencial hidrogeniônico; S= enxofre. Os modelos foram ranqueados do mais forte para o mais fraco, levando em consideração o valor do critério de informação de Akaike corrigido (AICc).

Modelos	$\Delta AICc$	AICc	$R^2$
Tratamentos*	0	231,56	0,8
Trat + Al	1,05	232,61	0,81
Trat + pH	1,09	232,66	0,81
Trat+ S	1,22	232,78	0,81

Abreviações: Tratamentos, que incluem os tratamentos 375 Graus-Dias, 750 Graus-Dias e área de exclusão.



**Fig. 5.** Riqueza das espécies de formigas subterrâneas coletadas em áreas de pastagem nativa com mini-Winkler e influência dos elementos químicos do solo no campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Em vermelho, tratamento 750 Graus-dias, em laranja, tratamento 375 Graus-dias e em verde, área de exclusão (E).

### 3.4. Composição da fauna de formigas subterrâneas e atributos do solo

A PERMANOVA indicou diferença na composição de espécies de formigas influenciada apenas pelo tratamento e MO, demonstrada na Tabela 4. A composição de espécies é similar entre os tratamentos 375 e 750 GD ( $p > 0,05$ ), podendo ser observado a sobreposição entre os tratamentos na RDA, demonstrado na Figura 6. Porém, os tratamentos 375 e 750 GD diferem da área de exclusão ( $p < 0,05$ ). A RDA conseguiu explicar em seus dois eixos 10,63% da variação dos dados obtidos representado na Tabela 4. As variáveis do solo



Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Em vermelho, tratamento 750 Graus-dias, em laranja, tratamento 375 Graus-dias e em verde, área de exclusão (E).

**Tabela 4**

Resumo da PERMANOVA testadas para as variáveis preditoras que foram analisadas na área de pastagem nativa no Campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

<b>Variáveis</b>	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>Pseudo F</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>p*</b>
Argila	1	0.42	0.42	-1.694.372	0.02	0.081
pH	1	0.34	0.34	-500.297	0.02	0.269
M.O	1	0.92	0.92	-94.801	0.06	<b>0.001</b>
Al	1	0.44	0.44	-372.320	0.03	0.053
Mg	1	0.29	0.29	0.96	0.01	0.501
Zn	1	0.29	0.29	0.98	0.02	0.501
S	1	0.23	0.23	0.77	0.01	0.812
B	1	0.22	0.22	0.73	0.01	0.854
K	1	0.29	0.29	0.96	0.01	0.497
Trat	2	-40.062	0.66	516.951	0.09	<b>0.001</b>
Relevo	2	0.52	0.26	0.87	0.03	0.722
Residuals	31	-1.606	0.30	NA	0.63	NA
Total	44	-1.959	NA	NA	1	NA

Abreviaturas: Df: graus de liberdade, SS: Soma dos quadrados; MS: Média dos quadrados.

#### 4. Discussão

Este estudo caracterizou, demonstrou relações entre os tratamentos e área de exclusão e atributos químicos do solo. É o primeiro trabalho que avalia formigas subterrâneas em área de pastagem nativa em uma área avaliada com mais de 20 anos com as mesmas frequências de pastejo. Desta forma, destaca-se a importância da área de exclusão do gado, uma vez que verifica-se que na área de exclusão 84 % do total das espécies foram possíveis serem coletadas nessa área. Os resultados encontrados na área de pastagem nativa seguem os padrões gerais conhecidos para a fauna de formigas, sendo as subfamílias Myrmicinae, Ponerinae e Formicinae as mais diversas e ricas em espécies [11].

A subfamília Myrmicinae apresenta elevada diversidade de espécies sendo a mais numerosa subfamília de formigas, caracterizada como um grupo abundante e dominante em muitos habitats, com grandes adaptações a nichos ecológicos [37] e alta complexidade social [38]. Os gêneros mais diversos foram *Pheidole* Westwood, 1839, *Wasmannia* Forel, 1893, *Solenopsis* Westwood, 1840. *Pheidole* é um gênero cosmopolita e facilmente encontrado nos mais diversos ambientes. As espécies deste gênero são onívoras e oportunistas, apresentando elevada diversidade e abundância, consideradas também importantes para o controle de outros artrópodes [26]. Apresenta grande importância ecológica, pois as espécies do gênero *Pheidole* desempenham funções como, predação, necrofagia, dispersão de sementes e são base alimentar para diversos organismos, além de serem encontradas em diferentes tipos de habitats como, pastagens, áreas urbanas entre outros ambientes [39].

*Wasmannia* tem 11 espécies conhecidas e *W. auropunctata* (Roger, 1863) apresenta um extremo grau de adaptação a ambientes modificados, sendo também considerada praga em plantações (cacau, por exemplo) porque apresenta colônias nas árvores e causam acidentes durante colheita [40]. O gênero *Solenopsis* inclui espécies cosmopolitas e a grande maioria é

composta por formigas subterrâneas encontradas em outros tipos de ecossistema, morfológicamente tem tamanho corporal pequeno e são extremamente especializada na predação de outras espécies de formigas, capturando e consumindo formas imaturas, como larvas e pupas [41].

A segunda subfamília mais numerosa em espécies neste estudo foi Ponerinae, condizendo com a literatura que aponta esta como a terceira mais diversa em estudos de Formicidae [42]. Atualmente, é composta por 47 gêneros e 1.264 espécies descritas [43]. O gênero mais abundante presente neste estudo foi *Hypoponera* Santschi, 1938. São conhecidas, por ser um grupo generalista-predadora, agindo, desta forma no controle de outras populações de artrópodes, a exemplo de colêmbolos e cupins, este gênero é facilmente coletado em amostras de solo e serapilheira, pois apresentam hábitos criptobióticos e nidificam no solo, além disso, podem ser coletadas em locais que foram já foram alterados [26,42].

A maioria das espécies que foram coletadas, estavam presente apenas na área de exclusão, como exemplo de *Anochetus neglectus*, *Hypoconera foreli*, *Hypoconera* sp.2, *Hypoconera* sp.11, *Rasopone ferruginea*, indicando que são espécies que tem preferência por ambientes menos perturbados e mais florestados [42]. Desta forma, verifica-se a importância da área de exclusão para a manutenção dessas espécies de formigas subterrâneas.

A subfamília Formicinae foi a terceira mais populosa neste estudo. Atualmente esta subfamília representa 51 gêneros e 3180 espécies descritas [43], sendo descrita na literatura por ser composta por espécies abundantes e que geralmente são fáceis de serem coletadas. Apresentam modificações no tamanho corporal, além de terem comportamento generalista, como é o caso do gênero *Camponotus* e associações obrigatórias, como exemplo o gênero *Acropyga* que é uma espécie subterrânea que tem associação com coccídeos, podendo ocupar

os mais diversos nichos independentes do grau de preservação do ambiente, mas desde que haja disponibilidade de alimento [26].

A exemplo da ocorrência do gênero *Brachymyrmex*, que é caracterizado por ter hábito alimentar generalista, podendo ser encontrada em ecossistema nativo e/ou antropizado, foi o gênero mais numeroso, validando que estas espécies são geralmente influenciadas pela oferta de alimento [11].

A riqueza de espécies de formigas apresentou interação com as propriedades do solo e com a complexidade das áreas de estudo. A riqueza diferiu da área de exclusão quando comparado aos tratamentos 375 e 750 GD. Isto pode estar relacionado há fatores com o contraste entre os ambientes [44], ou seja, ambiente pastejo e área de exclusão; a heterogeneidade e complexidade ambiental imposta pela composição vegetal [45–47]. Nos tratamentos (375 e 750 GD) e área de exclusão existem variações na estrutura da vegetação e conseqüentemente na temperatura e umidade desses locais, desta maneira influenciando a riqueza de espécies encontradas.

A área de exclusão do experimento é um ambiente caracterizado pela presença de arbustos, árvores de médio e grande porte, promovendo desta forma, diversidade neste ambiente em relação aos tratamentos 375 e 750 GD, além de ser uma área livre de distúrbio ocasionado pelo pastoreio animal. Logo possibilitando o desenvolvimento de espécies lenhosas e por conseguinte, aumentando a complexidade de microhabitats, diversificação, disponibilidade de alimento e variadas formas disponíveis para a nidificação das espécies [47]. Este tipo de área dentro das pastagens naturais é de extrema importância, porque representam ambientes com diversificação de habitat e servem de áreas de refúgios para a maioria das espécies, uma vez que se observa que algumas espécies são ocorreram na área de exclusão.

Os tratamentos 375 e 750 GD podem ser caracterizados como ambientes de baixa riqueza de espécies. A redução na riqueza de formigas acontece principalmente em áreas que tiveram algum nível de perturbação, geralmente coleta-se grande número de indivíduos e baixa riqueza simplifica os habitats e reduz a fauna de formigas subterrâneas diferente. No trabalho de Dröse et al. [49] também verificaram que os sítios com maior densidade de árvores, proporcionaram maior diversidade de espécies de formigas. Quando comparado a ambiente de floresta em trabalho de Andersen et al. [50] conseguiram registraram mais formigas em ambiente de pastagem naturais que em florestas na Austrália. Apesar de não ser um ambiente igual, é um tipo de ambiente tão peculiar quanto o bioma Pampa.

Outra hipótese desse ambiente ser tão diverso seria pela coevolução da fauna e flora, tornando esse habitat rico em biodiversidade e desta forma, únicos, por terem espécies endêmicas [47]. Os resultados estão condizentes com o estudo de Segat et al. [51] que verificaram que ambiente com maior tempo de recuperação, apresentaram maior complexidade de materiais depositados sobre o solo e conseqüentemente maior umidade, desta forma conseguiram coletar maior diversidade de gêneros, neste trabalho os resultados observados representaram a área de exclusão.

Os elementos do solo que influenciaram a riqueza de formigas foram alumínio, enxofre e pH. O alumínio é um elemento que impede a disponibilização de nutrientes importantes às plantas e influencia no pH do solo, ou seja, se torna mais ácido, assim o alumínio fica adsorvido preferivelmente, dificultando que outros íons importante se liguem, gerando baixa fertilidade no solo [52]. Desta forma, o aumento dos teores de alumínio no solo está relacionado a uma baixa faixa de pH no solo, e uma redução da riqueza de espécies de formigas, devido este elemento ser prejudicial as plantas e desta forma gerando efeitos diretos para a fauna que tem associação com plantas.

O enxofre é encontrado em sua grande proporção na matéria orgânica do solo, ou seja, cerca de 95% deste elemento está ligado aos resíduos orgânicos. O enxofre desempenha funções importantes e que estão ligadas à produção de proteínas e coenzimas [53]. Sugere-se que este elemento tenha a mesma importância para a fauna de formigas subterrâneas, onde na faixa de 5 mg/L se tem maior riqueza de espécies.

Os resultados verificados neste estudo sugerem forte relação entre os atributos químicos do solo e a fauna de formigas em áreas de pastagem. Em contraste, Jacquemin et al. [15] verificaram que os atributos do solo mostraram fraca relação com a fauna de formigas subterrâneas, como o caso do gênero *Acropyga* e *Hypoponera* que tiveram relação com o aumento do teor de argila e baixo pH, sendo estes apresentam conexão com à disponibilidade de recursos alimentares.

Para a composição das espécies a matéria orgânica apresentou maior força de explicação. A matéria orgânica do solo é outro recurso abundante e que pode ser encontrado distribuído no perfil do solo, reduzindo suas concentrações em profundidade [54].

Sabe-se que muitos grupos de artrópodes do solo têm relação direta com a matéria orgânica, atuando no processo de fragmentação, decomposição e ciclagem de nutrientes [55]. Esses processos são fundamentais para a produção primária e conseqüentemente para a diversidade acima do solo, a exemplo das plantas [56].

SEGAT et al. [51] encontraram forte relação entre os atributos químicos e físico do solo e a fauna de formigas; ainda, verificaram que ambientes que tiveram maior tempo de regeneração, também tinham maior quantidade de material orgânico e umidade no solo, representando também os sítios que preservam maior diversidade de gêneros. Desta forma, podemos verificar que a redução da diversidade de plantas ou a predominância de gramíneas

em ambiente de pastagem influência a abundância de organismos no solo e conseqüentemente a fertilidade do solo [57].

Desta forma, compreender a biodiversidade do solo e associações entre diversidade e complexidade acima do solo é essencial para a conservação da biodiversidade, manutenção das funções e serviços do ecossistema [7]. Os ambientes de pastagem nativa são ambientes complexos, com grande biodiversidade e que se destacam por sua delimitação geográfica e clima.

## **5. Conclusão**

O presente trabalho contribui para o conhecimento das espécies subterrâneas que ocorrem no bioma Pampa e expandem o atual conhecimento sobre as espécies de formigas que nidificam ou vivem dentro solo. Em áreas de pastagens nativa manejadas em rotação do gado a riqueza e composição de espécies de formigas não muda. No entanto, essas áreas têm menor riqueza e diferente composição de espécies, quando comparadas à áreas com exclusão do gado.

O indicador de espécies selecionou 14 espécies que são indicadoras do ambiente pertencente a área de exclusão. Desta forma, ressalta-se a importância das áreas com exclusão do gado, sendo interessantes para a manutenção e conservação das espécies de formigas subterrâneas, uma vez que são favorecidas por essas áreas compostas por espécies arbóreas e arbustivas, além de propiciar esses mosaicos em área de campo nativo.

Entre os atributos químicos do solo, teores de Alumínio, Enxofre e o pH influenciaram a riqueza de espécies bem como a matéria orgânica influi na composição de espécies.

## Referências

- [1] H.H. Hasenack, E. Weber, I. Bolbrini, R. Trevisan, Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000., Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia, 2010.
- [2] J.L.P. Cordeiro, H. Hasenack, Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul, in: Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável Da Biodiversidade., Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Conservação da Biodiversidade, Brasília, DF, 2009.
- [3] G. Overbeck, S. Muller, A. Fidelis, J. Pfadenhauer, V. Pillar, C. Blanco, I. Boldrini, R. Both, E. Forneck, Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos, *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 9 (2007) 101–116.  
<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.07.005>.
- [4] L.R. Podgaiski, R. Ott, G. Ganade, Ocupação de microhabitats artificiais por invertebrados de solo em um fragmento florestal no sul do Brasil, *Neotropical Biology and Conservation*. 2 (2007) 10.
- [5] P.K. Thornton, Livestock production: recent trends, future prospects, *Phil. Trans. R. Soc. B*. 365 (2010) 2853–2867. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0134>.
- [6] N. Pelletier, P. Tyedmers, Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000-2050, *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107 (2010) 18371–18374. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004659107>.
- [7] D.U. Hooper, E.C. Adair, B.J. Cardinale, J.E.K. Byrnes, B.A. Hungate, K.L. Matulich, A. Gonzalez, J.E. Duffy, L. Gamfeldt, M.I. O'Connor, A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change, *Nature*. 486 (2012) 105–108.  
<https://doi.org/10.1038/nature11118>.
- [8] F.T. Maestre, J.L. Quero, N.J. Gotelli, A. Escudero, V. Ochoa, M. Delgado-Baquerizo, M. Garcia-Gomez, M.A. Bowker, S. Soliveres, C. Escolar, P. Garcia-Palacios, M. Berdugo, E. Valencia, B. Gozalo, A. Gallardo, L. Aguilera, T. Arredondo, J. Blones, B. Boeken, D. Bran, A.A. Conceicao, O. Cabrera, M. Chaieb, M. Derak, D.J. Eldridge, C.I. Espinosa, A. Florentino, J. Gaitan, M.G. Gatica, W. Ghiloufi, S. Gomez-Gonzalez, J.R. Gutierrez, R.M. Hernandez, X. Huang, E. Huber-Sannwald, M. Jankju, M. Miriti, J. Moneris, R.L. Mau, E. Morici, K. Naseri, A. Ospina, V. Polo, A. Prina, E. Pucheta, D.A. Ramirez-Collantes, R. Romao, M. Tighe, C. Torres-Diaz, J. Val, J.P. Veiga, D. Wang, E. Zaady, Plant Species Richness and Ecosystem Multifunctionality in Global Drylands, *Science*. 335 (2012) 214–218. <https://doi.org/10.1126/science.1215442>.
- [9] M.F. WallisDeVries, J. Noordijk, E.O. Colijn, J.T. Smit, K. Veling, Contrasting responses of insect communities to grazing intensity in lowland heathlands, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 234 (2016) 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.012>.
- [10] A.N. Andersen, A. Fisher, B.D. Hoffmann, J.L. Read, R. Richards, Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australian rangelands, with particular reference to

ants: TERRESTRIAL INVERTEBRATES IN BIODIVERSITY MONITORING, *Austral Ecology*. 29 (2004) 87–92. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01362.x>.

[11] Hölldobler, B., Wilson, E. O., *The Ants*, Cambridge, Mass. Harvard University Press., 1990.

[12] I.D. Del-Toro, R. Ribbons, S. Pelini, The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae), 17 (2012) 15.

[13] R.R. da Silva, R. Silvestre, Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) que habita as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina, *Pap. Avulsos Zool. (São Paulo)*. 44 (2004). <https://doi.org/10.1590/S0031-10492004000100001>.

[14] K.T. Ryder Wilkie, A.L. Mertl, J.F.A. Traniello, Biodiversity below ground: probing the subterranean ant fauna of Amazonia, *Naturwissenschaften*. 94 (2007) 725–731. <https://doi.org/10.1007/s00114-007-0250-2>.

[15] J. Jacquemin, T. Drouet, T. Delsinne, Y. Roisin, M. Leponce, Soil properties only weakly affect subterranean ant distribution at small spatial scales, *Applied Soil Ecology*. 62 (2012) 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.08.008>.

[16] J.T. Longino, R.K. Colwell, BIODIVERSITY ASSESSMENT USING STRUCTURED INVENTORY: CAPTURING THE ANT FAUNA OF A TROPICAL RAIN FOREST, *Ecological Applications*. 7 (1997) 15.

[17] A.N. Andersen, A. Brault, Exploring a new biodiversity frontier: subterranean ants in northern Australia, *Biodivers Conserv*. 19 (2010) 2741–2750. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9874-1>.

[18] A.M. Boulton, K.F. Davies, P.S. Ward, Species Richness, Abundance, and Composition of Ground-Dwelling Ants in Northern California Grasslands: Role of Plants, Soil, and Grazing, *Environ Entomol*. 34 (2005) 96–104. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.1.96>.

[19] F.A. Schmidt, J.H. Schoederer, M.D.N. Caetano, Ant assemblage and morphological traits differ in response to soil compaction, *Insect. Soc*. 64 (2017) 219–225. <https://doi.org/10.1007/s00040-016-0532-9>.

[20] C.A. Alvares, J.L. Stape, P.C. Sentelhas, J.L. de Moraes Gonçalves, G. Sparovek, Köppen's climate classification map for Brazil, *Metz*. 22 (2013) 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

[21] STRECK, E. V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R. S. D, KLAMT, E, NASCIMENTO, P. C. do, SCHNEIDER, P., GIASSON, E., PINTO, L. F. S., *Solos do Rio Grande do Sul*, 2. ed. rev. ampl., 2008.

- [22] F.L.F. Quadros, J.P.P. Trindade, M. Borba, A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais, Valério De Patta Pillar Sandra Cristina Müller Zélia Maria de Souza Castilhos Aino Victor Ávila Jacques, 2009.
- [23] (IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (2016). <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>.
- [24] B.T. Bestelmeyer, J.A. Wiens, The Effects of Land Use on the Structure of Ground-Foraging Ant Communities in the Argentine Chaco, *Ecological Applications*. 6 (1996) 1225–1240. <https://doi.org/10.2307/2269603>.
- [25] M.K.L. Wong, B. Guénard, Subterranean ants: summary and perspectives on field sampling methods, with notes on diversity and ecology (Hymenoptera: Formicidae), (2017) 17.
- [26] F.B. Baccaro, R.M. Feitosa, F. Fernández, I.O. Fernandes, T.J. Izzo, J.L.P. de Souza, R.R.C. Solar, Guia Para Os Gêneros De Formigas Do Brasil, Zenodo, 2015. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.32912>.
- [27] TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A.; BOHNEN, H., VOLKWEISS, S. J., Análise de solo, plantas e outros materiais., 2. ed., (UFRGS. Boletim Técnico, 5), Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995.
- [28] A.F. Zuur, E.N. Ieno, C.S. Elphick, A protocol for data exploration to avoid common statistical problems: Data exploration, *Methods in Ecology and Evolution*. 1 (2010) 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>.
- [29] K.P. Burnham, D.R. Anderson, K.P. Burnham, Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd ed, Springer, New York, 2002.
- [30] K. Barton, Package MuMIn, 2020. <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/MuMIn.pdf>.
- [31] M. Dufrene, P. Legendre, Species Assemblages And Indicator Species: The Need For A Flexible Asymmetrical Approach, *Ecological Monographs*. 67 (1997) 22.
- [32] M.D. Cáceres, P. Legendre, Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference, *Ecology*. 90 (2009) 3566–3574. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>.
- [33] K.R. Clarke, Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure, *Austral Ecol*. 18 (1993) 117–143. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>.
- [34] J. Oksanen, F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P.R. Minchin, R.B. O’Hara, Gavin L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, Eduard Szoecs, H. Wagner, vegan: Community Ecology Package, 2019. <http://vegan.r-force.r-project.org/>.
- [35] R Development Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. <http://www.R-project.org>.

- [36] H. Wickham, *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*, Springer-Verlag New York, 2016. <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- [37] H.G. Fowler, L.C. Forti, C.R.F. Brandão, J.H.C. Delabie, H.L. Vasconcelos, *Ecologia Nutricional de Formigas*, 1991.
- [38] F. Fernandez, *Introducción a las hormigas de la región neotropical*, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, 2003.
- [39] K. Eguchi, A revision of Northern Vietnamese species of the ant genus *Pheidole* (Insecta: Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae), *Zootaxa*. 1902 (2008) 1–118. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1902.1.1>.
- [40] E.S. da Conceição, T.M.C. Della Lucia, A.D.O. Costa Neto, É.D.S. Araújo, E.B. de A. Koch, J.H.C. Delabie, Ant Community Evolution According to Aging in Brazilian Cocoa Tree Plantations, *Sociobiology*. 66 (2019) 33. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v66i1.2705>.
- [41] L. Ohyama, J.R. King, D.G. Jenkins, Are tiny subterranean ants top predators affecting aboveground ant communities?, *Ecology*. 101 (2020). <https://doi.org/10.1002/ecy.3084>.
- [42] J.E. Lattke, Estado da arte sobre a taxonomia e filogenia de Ponerinae do Brasil, in: J.H.C. Delabie, R.M. Feitosa, J.E. Serrão, C.S.F. Mariano (Eds.), *As formigas poneromorfas do Brasil*, EDITUS, Editora da UESC, Ilhéus, Bahia, 2015.
- [43] B. Bolton, *Formicidae*, (2020). <https://antcat.org/> (accessed February 23, 2020).
- [44] M. Kaspari, M.D. Weiser, Ant Activity along Moisture Gradients in a Neotropical Forest, (n.d.) 10.
- [45] C.R. Ribas, J.H. Schoereder, M. Pic, S.M. Soares, Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness, *Austral Ecology*. 28 (2003) 305–314. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01290.x>.
- [46] S.A. Lassau, D.F. Hochuli, Effects of habitat complexity on ant assemblages, *Ecography*. 27 (2004) 157–164. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03675.x>.
- [47] C.L. Parr, C.E.R. Lehmann, W.J. Bond, W.A. Hoffmann, A.N. Andersen, Tropical grassy biomes: misunderstood, neglected, and under threat, *Trends in Ecology & Evolution*. 29 (2014) 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.02.004>.
- [48] W. Dröse, EFEITO DO PASTEJO SOBRE AS ASSEMBLEIAS DE FORMIGAS NOS CAMPOS SULINOS, Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- [49] W. Dröse, L.R. Podgaiski, C.F. Dias, M. de S. Mendonça, Local and regional drivers of ant communities in forest-grassland ecotones in South Brazil: A taxonomic and phylogenetic approach, *PLoS ONE*. 14 (2019) e0215310. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215310>.

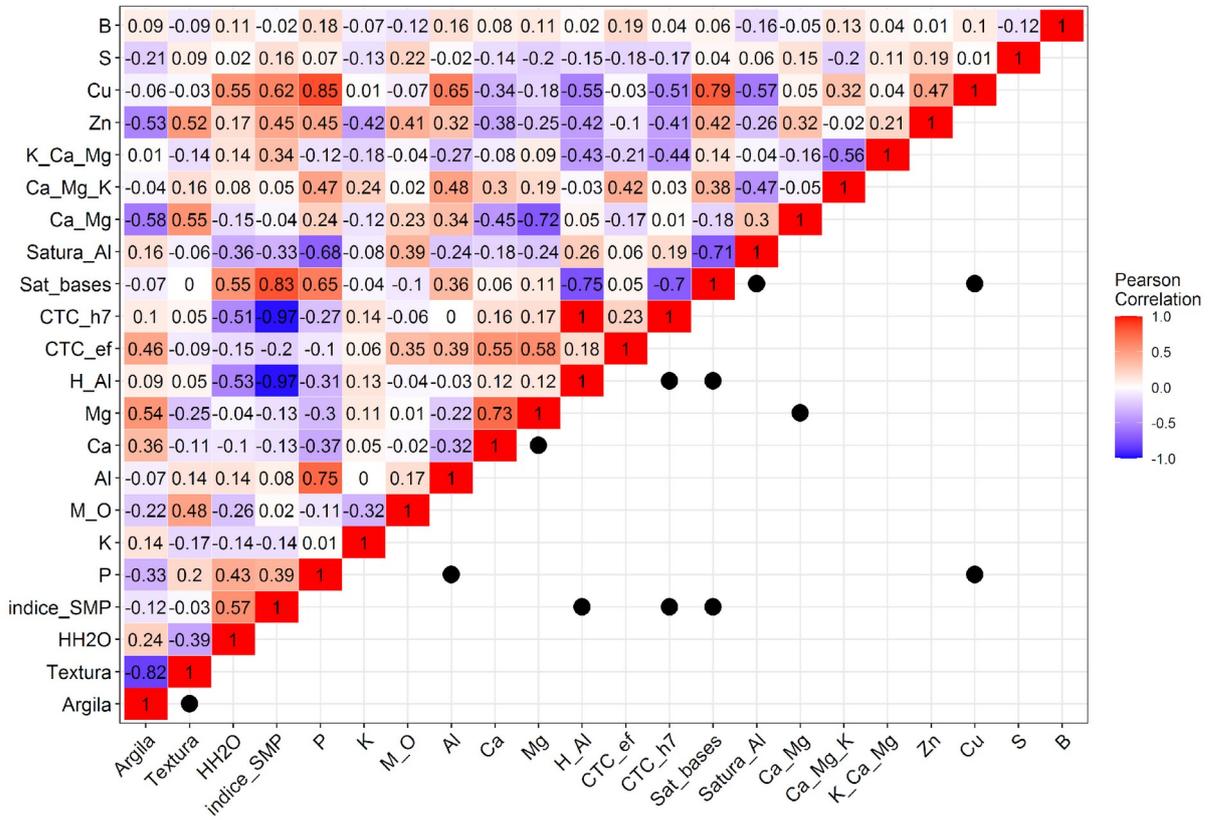
- [50] Andersen et al. - 2002 - Using ants as bioindicators in land management si.pdf, (n.d.).
- [51] J.C. Segat, R.L. Figueiredo Vasconcellos, D. Paiva Silva, D. Baretta, E.J.B.N. Cardoso, Ants as indicators of soil quality in an on-going recovery of riparian forests, *Forest Ecology and Management*. 404 (2017) 338–343. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.038>.
- [52] DECHEN A. R, NACHTIGALL, G. R, Elementos requeridos à nutrição de plantas, Viçosa: SBCS/UFV., 2007.
- [53] G.C. Vitti, R. Otto, J. Saviato, E. Lima, Leandro Azevedo Santos, X – ENXOFRE, in: *Nutrição Mineral de Plantas*, Manlio Silvestre Fernandes Sonia Regina de Souza Leandro Azevedo Santos, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.
- [54] P. Lavelle, Soil as a Habitat, in: D.H. Wall (Ed.), *Soil Ecology and Ecosystem Services*, Oxford University Press, Oxford, 2012.
- [55] C. Janion-Scheepers, J. Measey, B. Braschler, S.L. Chown, L. Coetzee, J.F. Colville, J. Dames, A.B. Davies, S.J. Davies, A.L.V. Davis, A.S. Dippenaar-Schoeman, G.A. Duffy, D. Fourie, C. Griffiths, C.R. Haddad, M. Hamer, D.G. Herbert, E.A. Hugo-Coetzee, A. Jacobs, K. Jacobs, C.J. van Rensburg, S. Lamani, L.N. Lotz, S. vdM. Louw, R. Lyle, A.P. Malan, M. Marais, J.-A. Neethling, T.C. Nxele, D.J. Plisko, L. Prendini, A.N. Rink, A. Swart, P. Theron, M. Truter, E. Ueckermann, V.M. Uys, M.H. Villet, S. Willows-Munro, J.R.U. Wilson, Soil biota in a megadiverse country: Current knowledge and future research directions in South Africa, *Pedobiologia*. 59 (2016) 129–174. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2016.03.004>.
- [56] D.A. Wardle, Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota, *Science*. 304 (2004) 1629–1633. <https://doi.org/10.1126/science.1094875>.
- [57] Y. Kooch, N. Noghre, The effect of shrubland and grassland vegetation types on soil fauna and flora activities in a mountainous semi-arid landscape of Iran, *Science of The Total Environment*. 703 (2020) 135497. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135497>.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste estudo foi possível se fazer o levantamento das espécies que ocorrem em uma área de pastagem nativa no bioma Pampa. E com isto, estabelecer relações da fauna de formigas subterrâneas aos atributos do solo. A partir desta pesquisa foi possível se avançar em outros seguimentos para compreender melhor a organização funcional destes insetos crípticos. Como isso sugere-se:

- i.* Inclusão de metodologias complementares ao método utilizado neste estudo,
- ii.* Amostragens para coleta de amostras para análises físicas,
- iii.* Conhecer e relacionar outras espécies da distribuição da vegetação que mais se destaca na área,
- iv.* Implementar o monitoramento da fauna do solo, desta forma realizando mais coletas no mesmo período e estação,
- v.* Fazer levantamentos das espécies em mais área de Campo Nativo no bioma Pampa,
- vi.* Definir espécies de formigas que podem ser utilizadas como bioindicadoras em outros sistemas de cultivo.

# ANEXO 1



**Fig.7.** Seleção dos dados de solo analisado graficamente através da correlação de Person. Solo coletado na área de pastagem nativa no Campus da Universidade Federal de Santa Maria -UFSM no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.