



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMÁTICA E EVOLUÇÃO

**IMPACTOS DA CONVERSÃO DE CAMPO NATIVO EM  
MONOCULTURA DE SOJA NA FAUNA DE COLÊMBOLOS  
EPIEDÁFICOS DO PAMPA BRASILEIRO**

VÍTOR MATEUS RIGOTTI

---

Dissertação de Mestrado  
Natal/RN, Abril de 2023

VÍTOR MATEUS RIGOTTI

Impactos da conversão de campo nativo em monocultura de soja na fauna  
de colêmbolos epiedáficós do Pampa Brasileiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Sistemática e Evolução da Universidade  
Federal do Rio Grande do Norte como  
requisito para obtenção de título de  
mestre.

Orientador: Dr. Bruno Cavalcante  
Bellini

Coorientadora: Dra. Bruna Raquel  
Winck

ABRIL, 2023

NATAL/RN

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Rigotti, Vitor Mateus.

Impactos da conversão de campo nativo em monocultura de soja na fauna de colêmbolos epiedáficicos do pampa brasileiro / Vitor Mateus Rigotti. - 2023.

37 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Sistemática e Evolução, Natal, RN, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Cavalcante Bellini.

Coorientadora: Profa. Dr. Bruna Raquel Winck.

1. Bioindicadores - Dissertação. 2. Collembola - Dissertação.  
3. Impacto ambiental - Dissertação. 4. Inventário - Dissertação.  
5. Mesofauna - Dissertação. I. Bellini, Bruno Cavalcante. II. Winck, Bruna Raquel. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 502.131.1

VÍTOR MATEUS RIGOTTI

Impactos da conversão de campo nativo em monocultura de soja na fauna  
de colêmbolos epiedáficis do Pampa Brasileiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Sistemática e Evolução da Universidade  
Federal do Rio Grande do Norte como  
requisito para obtenção de título de  
mestre.

Orientador: Dr. Bruno Cavalcante  
Bellini

Coorientadora: Dra. Bruna Raquel  
Winck

Aprovada em 26 de março de 2022.

**BANCA EXAMINADORA:**

Dr. RUDY CAMILO NUNES, IFPI  
Examinador Externo à Instituição

Dra. KAUANE MAIARA BORDIN, UFRGS  
Examinadora Externa ao Programa

Dr. BRUNO CAVALCANTE BELLINI, UFRN  
Presidente

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), seus funcionários e professores por todo apoio prestado à comunidade acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Projeto NEXUS por ter permitido acesso aos recursos materiais para a realização deste trabalho.

À meu orientador Bruno Cavalvante Bellini, pela infinita paciência e por demonstrar da forma mais ilustrativa possível o que é ser um bom professor, pesquisador e principalmente, ser humano. Obrigado por ter abraçado este trabalho em um momento tão desafiador.

À minha coorientadora Bruna Raquel Winck, com quem aprendi a fazer Ciência desde o início de minha graduação. Não estaria aqui se não fosse por teu incentivo. Você acreditou mais em mim do que eu mesmo e serei eternamente grato por isso.

À minha família, cujo apoio fora fundamental para que concluísse este estudo. Não cabe dentro de mim a felicidade em vocês terem apoiado essa insólita jornada de me verem atravessar o país para seguir atrás de meus objetivos. Essa realização é tanto minha quanto é de vocês.

A todos meus amigos espalhados pelo Brasil e pelo mundo. Não teria sido capaz de desenvolver esse trabalho se não fosse pelo incondicional apoio, suporte e atenção de todos. Eu não estaria aqui e não seria a pessoa que eu sou se não fosse por vocês.

E aos membros da banca por aceitarem o convite para a avaliação desta dissertação.

*“Eu indo ao Pampa  
o Pampa indo em mim.”*

*Vitor Ramil*

## RESUMO

A fauna edáfica é parte fundamental das dinâmicas do ecossistema solo. Dentre estes componentes da fauna podem se destacar os Collembola, pequenos artrópodes que apresentam grande sensibilidade a alterações de natureza físico-química no ambiente em que estão inseridos. Alterações na fauna de Collembola podem indicar alterações causadas por distúrbios antrópicos, como na conversão de campos nativos para usos em monoculturas. O bioma Pampa é um ambiente campestre altamente diverso, pouco protegido, e sensível a alterações ambientais. Assim, neste estudo foram utilizados índices ecológicos das populações de Collembola para identificar as possíveis alterações da conversão de campo nativo no bioma Pampa em monocultura de soja. Foi comparada a fauna de colêmbolos em nove sítios pareados de campo e soja, em quatro municípios no estado brasileiro do Rio Grande do Sul. Foram levados em conta os efeitos da conversão, e fatores ambientais envolvendo solo, vegetação, clima e geomorfologia. Ao total foram contabilizados 975 espécimes: 359 nas áreas de campo nativo e 616 nas áreas com cultivo de soja. As análises indicaram alterações significativas na composição de espécies entre as comunidades. Embora a abundância tenha sido maior nas áreas de soja, o Índice de Diversidade de Shannon foi maior em áreas de campo nativo. Não foram encontradas diferenças significativas na riqueza e Índice de Equitatividade de Pielou entre as áreas com diferentes usos do solo. Em relação às variáveis ambientais, o Índice de Diversidade de Shannon foi positivamente afetado pelas variáveis: elevação, riqueza vegetal, diversidade vegetal e riqueza de plantas não-gramíneas. O aumento da população de Collembola pode indicar ressurgência nas áreas de monocultura após o distúrbio, além de potencial simplificação nas cadeias tróficas. A redução no número de predadores, as alterações nas características físico-químicas poderiam explicar tal fenômeno.

**Palavras-Chave:** Bioindicadores, Collembola, impacto ambiental, inventário, mesofauna.

## ABSTRACT

The edaphic fauna is a fundamental part of the soil ecosystem's dynamics. Among the components of the edaphic fauna can be highlighted the Collembola, small arthropods that present great sensitivity to physical-chemical changes in the environment where they are inserted. Changes in the Collembola fauna may indicate changes caused by anthropic disturbances, such as the conversion of native grasslands for use in plantations. The Pampa biome is a highly diverse grassland environment, poorly protected, and sensitive to environmental changes. Thus, in this study, ecological indices of Collembola populations were used to identify the possible alterations of the conversion of native grasslands in the Pampa biome into soybean plantations. The Collembola fauna was compared in nine paired grassland and soybean sites in four municipalities in the Brazilian state of Rio Grande do Sul. The effects of conversion, and environmental factors involving soil, vegetation, climate and geomorphology were taken into account. A total of 975 specimens were counted: 359 in native field areas and 616 in soybean areas. The analyses indicated significant changes in species composition between communities. Although abundance was higher in soybean areas, the Shannon Diversity Index was higher in native grassland areas. No significant differences were found in the richness and Pielou Equitability Index between the areas with different land uses. Regarding environmental variables, the Shannon Diversity Index was positively affected by the variables: elevation, plant richness, plant diversity and richness of non-grass plants. The increase in the population of Collembola may indicate upwelling in the plantation areas after the disturbance, as well as potential simplification in the trophic chains. The reduction in the number of predators, the changes in the physicochemical characteristics could explain this phenomenon.

**Keywords:** Bioindicators, Collembola, environmental impact, inventory, mesofauna.



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO – 9

OBJETIVOS – 13

MATERIAL E MÉTODOS – 13

1 - Localização e delineamento amostral - 13

2 - Medição das variáveis ambientais – 15

3 - Coleta e identificação da fauna – 16

4 - Dados ecológicos e Análise Estatística – 16

RESULTADOS – 18

1 - Inventário da fauna de Collembola nos diferentes usos do solo - 18

2 - Efeitos da conversão de campo em soja – 21

3 - Efeito das variáveis ambientais na comunidade de Collembola - 23

DISCUSSÃO – 25

1 – Inventário de Colêmbolos Epiedáficos – 25

2 – Influências do uso da terra nas comunidades de Collembola - 25

3 – Influência dos fatores ambientais nas comunidades de Collembola - 28

CONCLUSÃO - 29

APÊNDICE – 30

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS – 31

### **Sumário de Imagens e Tabelas:**

Figura 1 – Mapa político localizando as coletas - 14

Figura 2 – Ilustração do modelo amostral - 14

Figura 3 - Análise de Rarefação – 20

Figura 4 – Composição das espécies (PcoA) - 21

Figura 5 - Boxplots de Abundância, Riqueza, Diversidade de Shannon e Equitatividade de Pielou – 22

Figura 6 – RDA indicando fatores ambientais relacionados com as comunidades - 23

Figura 7 – Correlação bivariada entre os índices ecológicos e variáveis ambientais – 24

TABELA 1 – Abundâncias totais e relativas de Collembola – 19

## INTRODUÇÃO

As medidas ecológicas de comunidades de organismos, associadas ao acompanhamento de variáveis ambientais, são ferramentas amplamente utilizadas para se caracterizar diferentes tipos e níveis de impactos antrópicos nos ecossistemas (Prestes e Vincenti, 2019). Alterações nas diversidades taxonômicas e funcionais de organismos pode ser alterada conforme a intensidade do distúrbio antrópico realizado (Carreño-Rocabado *et al.* 2012; Chazdon *et al.* 2007) Dados como alterações na abundância, riqueza taxonômica, e índices de diversidade ecológica e funcional de determinados organismos podem servir como ilustração e modelo para monitorar os impactos ambientais de áreas alteradas pela ação humana (Socarrás e Izquierdo, 2014).

Mesmo tratando-se do país com a maior biodiversidade estimada do planeta, o Brasil apresenta déficit em relação ao reconhecimento taxonômico e ecológico de organismos dos mais diversos grupos, especialmente invertebrados detritívoros de solo (edáficos) (Culik e Zeppelini; 2003). A fauna edáfica é composta por uma ampla diversidade de organismos, tais como nematoides, anelídeos, ácaros, cupins, coleópteros, formigas e colêmbolos (Brussaard, 1997), que influenciam direta ou indiretamente a degradação dos detritos vegetais dos ecossistemas e a manutenção e composição microflora edáfica em geral. Como resultado, a fauna de detritívoros do solo afeta importantes serviços ecossistêmicos tais como a ciclagem do carbono e nutrientes, a fertilidade do solo e a produtividade primária (Borges *et al.*, 2016).

Dentre os organismos mais abundantes da fauna edáfica destacam-se os Collembola (Athropoda; Hexapoda) (Potapov *et al.*, 2023). Também chamados de colêmbolos ou pulgas de solo, estes são pequenos artrópodes terrestres cosmopolitas pertencentes a uma linhagem basal de Hexapoda. Quanto a sua morfologia, os Collembola são caracterizados pela entognatia (condição na qual as peças bucais estão ocultas dentro da cabeça) e por apêndices abdominais típicos: fúrcula, tenáculo e colóforo, sendo esta última estrutura a principal sinapomorfia do grupo (Bellini *et al.*, 2023). Os Collembola podem ocupar uma grande diversidade de nichos, e são responsáveis por importantes funções ecológicas no solo. São, por exemplo, a base alimentar de diversas cadeias tróficas envolvendo pequenos predadores, particularmente artrópodes (Coyle *et al.*, 2017), assim como regulam a comunidade microbiana, sobretudo a de fungos, seja por se alimentarem deles e ou dispersarem seus esporos (Bellini *et al.*, 2023). Por controlar a comunidade microbiana, consumir resíduos orgânicos, modificar a distribuição de nutrientes no solo via fezes e urina, os

Collembola influenciam a taxa de decomposição de matéria orgânica do solo (Palacios-Vargas, 1985; Zeppelini, 2012; Bellini *et al.*, 2023). Esses efeitos indicam um *feedback* positivo na ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, principalmente na região da rizosfera, o que favorece o crescimento de plantas, incluindo em regiões campestres neotropicais, como o Pampa. (Winck *et al.*, 2019).

Presente somente no estado brasileiro do Rio Grande do Sul (RS), este bioma cobre uma área de 178,243 km<sup>2</sup>, correspondendo a 63% da área do RS e 2,07% do território nacional (Cordeiro e Hasenack., 2009). Dentro do RS, o Pampa encontra-se presente na porção sul do estado, sendo que a parte norte faz limites com o bioma Mata Atlântica. Nessas regiões, é comum a ocorrência de ecótonos onde se observa claramente a transição de uma vegetação dominada por arbóreas para uma fitofisionomia dominada por herbáceas (PROBIO, 2007). Apesar do predomínio da família Poaceae, o Pampa brasileiro abriga também uma grande diversidade de espécies das famílias Asteraceae, Cyperaceae e Fabaceae, sendo diversas destas endêmicas da região (SEMA, 2002). Entende-se o Pampa como um bioma de grande complexidade, composto por diversas formações vegetais, principalmente representado por áreas campestres dominadas por gramíneas, mas com inclusões florestais especialmente em margens de rios e outros ambientes com maior umidade (Andrade *et al.*, 2019). Por exemplo, a diversidade vegetal nas áreas campestres pode ser composta por até 56 espécies de plantas nativas a cada m<sup>2</sup> (Da Silva Menezes *et al.*, 2018). Em função do efeito de cascata, essa diversidade vegetal é um importante “*driver*” para a diversidade de outros grupos tróficos, incluindo a de Collembola (Winck *et al.*, 2017).

As áreas de campo nativo do Pampa são tradicionalmente usadas para o pastejo extensivo de bovinos e ovinos. O pastejo é uma importante atividade econômica que ao mesmo tempo mantém parte das características da vegetação campestre controlando o avanço da vegetação arbórea sobre os campos, sobretudo em regiões mais úmidas e com solos mais profundos (Overbeck, 2007). Assim, pode-se compreender o pastejo como uma estratégia de manutenção do ecossistema quando comparada a outros usos mais intensivos de terra, tendo em vista que o Pampa se desenvolveu sob a influência de grandes herbívoros pastejadores até o Holoceno Inferior (Behling, 2007). Em adição a isso, a intensidade do pastejo pode ser manejada de tal forma que esteja em sinergia com a manutenção da diversidade, provisão de serviços ecossistêmicos e produção de alimentos (Baggio *et al.*, 2021). Estudos recentes mostraram que a diversidade de Collembola tem seu pico em intensidade moderada de pastejo (Winck *et al.*, 2019),

assim como também a vegetação e polinizadores. Existem evidências em outros estudos mostrando a importância do pastejo como mecanismo de retroalimentação positivo entre as comunidades florísticas e grandes herbívoros em regiões naturalmente cobertas por campos (Milchunas *et al.*, 1988).

As áreas de campo nativo do Pampa brasileiro têm sido rapidamente convertidas em monoculturas, principalmente de soja (*Glycine max*) e eucalipto (*Eucalyptus spp.*) (Gabriel *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022). É esperado que a perda da vegetação nativa afete os demais grupos tróficos, devido à redução da quantidade e qualidade do habitat, da qualidade e quantidade de recursos alimentares disponíveis, além da alteração físico-química do solo (Van Vliet *et al.*, 2015). O avanço de monoculturas envolve a potencial perda de uma biodiversidade que é ainda pouco conhecida. Por exemplo, em relação aos Collembola, há apenas uma espécie nominal registrada no Pampa até o momento, *Cyphoderodes xenopus* (Börner, 1913), provavelmente de área periurbana no município de São Leopoldo (Börner 1913; Zeppelini e Bellini, 2023). Por apresentarem uma cutícula fina e permeável, algumas espécies de colêmbolos são muito sensíveis a alterações de pH, potencial iônico do solo, umidade e temperatura e presença de compostos tóxicos, como metais pesados e pesticidas (Hopkin, 1997; Uribe-Hernández *et al.*, 2010). Essa sensibilidade torna os colêmbolos, particularmente as espécies endêmicas, bons indicadores de qualidade do solo. O trabalho de Rovedder (2009) apontou que a rápida resposta de Collembola em áreas manejadas para combater efeitos de arenização no Bioma Pampa permite a utilização desses organismos como indicadores de nível de degradação e recuperação. Silva *et al.*, (2022) e Jorge *et al.*, (2022) observaram redução na diversidade de colêmbolos no Pampa em contexto de conversão de campo nativo para monocultura de *Eucalyptus*. Além disso, parte das morfoespécies coletadas pelos autores trata-se de potenciais novas espécies que não foram ainda descritas na região. Góes *et al.*, (2021) traça uma comparação da fauna edáfica no Pampa entre campo nativo, mata nativa e lavoura de soja em rotação com azevém (*Lolium multiflorum*), e evidencia que há alterações nas comunidades de Collembola em regiões afetadas pela conversão de campo nativo para plantios artificiais.

O plantio da soja no RS inicialmente esteve restrito a áreas ao Norte e Noroeste do estado (Gerhardt, 2016), porém avançou significativamente em diversas regiões cobertas pelo Pampa recentemente (MAPBIOMAS, 2022). Da Vida Pellenz *et al.* (2019) associam a crescente expansão do cultivo da soja no Rio Grande do Sul ao

“*Boom das Commodities*” no início do Século XXI. A expansão do cultivo de soja no bioma se iniciou na década de 90, ocorrendo entre 1994 e 2010 aumento de 92,6% na produção e de 26,1% na área plantada (Anholeto e Massuqueti, 2015)<sup>i</sup>. De fato, estes números devem ser ainda maiores, como apontado por Kuplich *et al.*, (2018), que detectaram o incremento em 188,5% nas áreas de cultivo de soja no Pampa apenas entre os anos de 2000 e 2015. Apesar da baixa aptidão agrícola para soja de muitas classes de solo no bioma (Neossolos) e do clima desfavorável (períodos de prolongada seca), sua expansão se tornou possível pelo desenvolvimento de novas técnicas de manejo do solo, uso de mecanização e inserção de cultivares tardios adaptados (Salembier *et al.*, 2016; Petsch, 2022). Há de se destacar também, como apontado por Silva e Anjos (2020), que os impactos do plantio da soja no Pampa trazem prejuízos não somente ambientais como também socioeconômicos e culturais. Considerando que o Pampa brasileiro perdeu mais de 50% (2,5 milhões de hectares) de sua cobertura vegetal natural nos últimos 35 anos, e que no ano de 2018 as áreas convertidas por ação antrópica (7,893,373 ha) ultrapassaram em extensão as áreas de vegetação nativa (6,519,015 ha) (MAPBIOMAS, 2022), é possível inferir que as dinâmicas ecológicas do solo foram alteradas nas áreas de cultivo, além destas gerarem expressivas alterações nos modos de vida dos habitantes da região.

O principal objetivo deste trabalho é compreender os impactos da conversão do uso da terra entre campo nativo e monocultura de soja sobre a comunidade de Collembola, e quais são as variáveis ambientais que estão associadas esses impactos. Também temos como objetivo realizar um inventário da fauna para Collembola no Pampa, uma vez que essa fauna é pouco conhecida na região. Com isso o trabalho traz as seguintes perguntas: 1) Há alterações na diversidade de Collembola epiedáficis das regiões de campo nativo em comparação com as regiões convertidas para monocultura de soja? 2) Caso haja alterações, quais seriam as variáveis ambientais que controlam esses impactos nas comunidades estudadas? Nossas hipóteses são: 1) A riqueza, abundância e/ou diversidade na composição de espécies de Collembola epiedáficis é menor em áreas convertidas para soja devido a menor quantidade de nichos ecológicos disponíveis; e 2) A perda de diversidade vegetal, bem como mudanças na sua composição, é um importante fator direcionador associado à perda da biodiversidade de Collembola.

## OBJETIVOS

### **Objetivo geral:**

Avaliar a composição e diversidade da fauna de Collembola epiedáficis no Pampa brasileiro, comparando áreas de campo nativo e monocultura de soja para inferir os impactos da mudança de habitat nessas comunidades.

### **Objetivos específicos:**

- Inventariar a fauna de Collembola epiedáfica em sítios regionais do Pampa no Rio Grande do Sul, representativos de campos nativos e áreas convertidas em monocultura de soja.
- Identificar quais são os possíveis fatores ambientais que impactam as comunidades de Collembola no Pampa brasileiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **1 - Localização e delineamento amostral**

Este estudo está inserido no projeto NEXUS II “Cenários de conversão da vegetação nativa e a sustentabilidade de agroecossistemas no bioma Pampa” (Chamada MCTI/CNPq Nº 20/2017), sob a coordenação do professor Dr. Valério De Patta Pillar, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As coletas foram realizadas no bioma Pampa em parcelas pareadas entre campo nativo e soja em quatro sítios regionais (municípios) (Figura 1). Foram delimitados três pares Campo-Soja (C-SO) no município de Aceguá, três no município de Jari, dois no município de Santo Antônio das Missões e um no município de São Gabriel, totalizando nove pares C-SO para o estudo (Figura 2). Todas as amostragens ocorreram entre janeiro e março de 2019, no período de floração da soja. Os períodos de coleta e coordenadas geográficas dos pares encontram-se no anexo (Tabela S2).

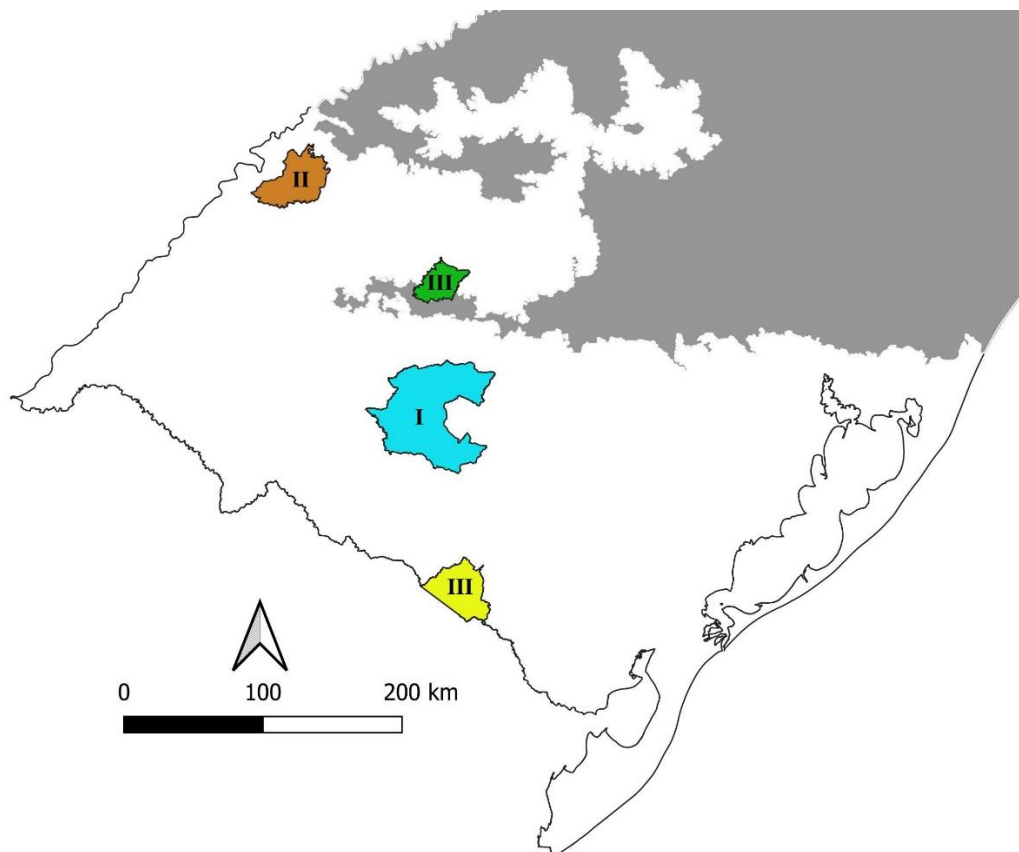


Figura 1 – Mapa político do sul do RS delimitando a área de Pampa (branco). Os municípios onde ocorreram as amostragens e número de pares coletados são: Aceguá (amarelo) e Jari (verde), com três pares coletados, Santo Antônio das Missões (laranja) com dois, e São Gabriel (azul) com um. O número de coletas por município está numerado no mapa por algarismos romanos.

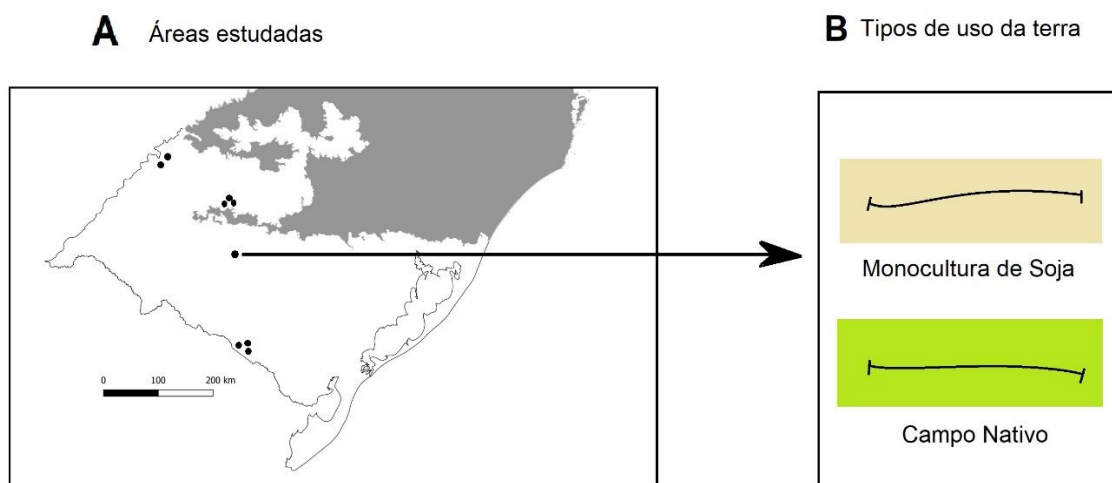


Figura 2 - Bioma Pampa no Brasil (RS) com: (A) a delimitação das áreas nos municípios em que ocorreram as coletas; e ilustração indicando o modelo pareado utilizado para comparação entre os diferentes usos da terra nas áreas estudadas (B).

Todos os sítios de coleta apresentam clima subtropical úmido, classificado como “CFa” no sistema Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006). Os solos consistem em Chernossolos nos pares de Aceguá, Argissolos nos pares de Jari e São Gabriel, e Nitossolos nos pares de Santo Antônio das Missões. Baseando-se no trabalho de Hasenack *et al.*, 2010, os sistemas ecológicos originais das áreas de coleta consistem em Campos Graminosos em Aceguá, Campos com Barba-de-Bode em Jari e Santo Antônio das Missões, e Campos Mistos com Andropogôneas e Compostas em São Gabriel.

## **2 - Medição das variáveis ambientais**

Para a obtenção das variáveis associadas ao solo, foram feitas três coletas ao longo do transecto de 250 m, com espaçamento de 83 m entre cada uma. Os teores de areia, silte e argila foram medidas em três profundidades padronizadas (10, 20, 30 cm) usando método de Bouycous, como descrito em Teixeira *et al.* (2017). Para medição da densidade aparente do solo foram coletados três cilindros de 8,5 cm de diâmetro com 5,0 cm de profundidade ao longo dos 250 m do transecto. Cada amostra foi seca a 105°C e pesada para obter-se sua densidade em g/cm<sup>2</sup>.

Os dados de vegetação foram coletados em 10 pontos ao longo de cada transecto (espaçamento de 25 m). Utilizaram-se quadriláteros de 1 m<sup>2</sup>, cinco ao lado das armadilhas de queda e outros cinco em pontos igualmente divididos entre as armadilhas para melhor caracterizar o perfil da vegetação. Em cada ponto foram avaliados: riqueza, diversidade e dominância das plantas, riqueza de plantas não-gramíneas, presença de gravatás (*Erygium spp.*) e mediana da altura vegetal. A estrutura do habitat foi medida com régua, uma em cada aresta de um quadrado de 1 m<sup>2</sup> e uma no centro deste.

Por último, a partir de dados especializados, foi extraído em cada ponto a temperatura média anual, a sazonalidade de temperatura, a precipitação (resolução de 1000 m) (WorldClim, 2022) e elevação (resolução de 90 m) (SRTM DEM, 2022). Esses dados foram extraídos das plataformas digitais usando-se um *buffer* com raio de 125 metros em torno de cada transecto, delimitado no software QGis Versão 3.28.3.



### 3 - Coleta e identificação da fauna

Os Collembola foram coletados nos pares C-SO a cada 50 m de distância, totalizando cinco subparcelas. Foram utilizadas armadilhas de queda (*pitfall*), visando amostrar preferencialmente organismos de superfície (epiedáficos e alguns hemiedáficos). Os *pitfalls* consistiram em tubos Falcon de 50 mL com 30 mm de diâmetro contendo álcool 70% e uma gota de detergente para quebra da tensão superficial. Em cada subparcela foram colocadas três armadilhas, totalizando 15 por transecto, e permaneceram no campo por 24 horas cada. Para cada par, as amostragens ocorreram no mesmo dia e horário, para não haver alterações significativas nas condições climáticas no momento da coleta.

A identificação dos Collembola foi feita *a posteriori* em laboratório. Primeiro, utilizando-se estereomicroscópio, o material foi separado em morfótipos e contado. Após esta etapa, os espécimes foram fotografados sob estereomicroscópio e recodificados em diferentes morfótipos para aumentar a resolução taxonômica. Após isso, entre três e cinco espécimes correspondentes ao mesmo morfótipo foram escolhidos de forma aleatória nas amostras para observação sob microscópio óptico comum e para identificação taxonômica precisa. Para isso foi feita a montagem de lâminas de microscopia, seguindo uma combinação dos métodos de Arlé e Mendonça (1982) e Jordana *et al.*, (1997), nos quais os colêmbolos foram clarificados utilizando-se soluções de Nesbitt e Arlé, e posteriormente foram fixados em lâmina permanentes em meio de Hoyer. Após isso as lâminas secaram em estufa a 50°C por volta de três dias.

Para identificação taxonômica dos colêmbolos, foram utilizadas chaves e diagnoses como as propostas em Cipola *et al.*, (2018), Bellinger *et al.*, (1996-2023), Jordana *et al.* (1997), Massoud (1967), Betsch (1980), Christiansen e Bellinger (1998), Bretfeld (1999), Potapov (2001), Bellini e Godeiro (2017), entre outras bibliografias. Caso todos os organismos de um morfótipo correspondessem à mesma categoria taxonômica, se confirmava a sua identidade. Caso contrário, nova morfotipagem seria realizada, para que novos espécimes fossem montados e identificados. Assim, o processo foi repetido quatro vezes para se obter maior grau de precisão de identificação das amostras.

### 4 - Dados ecológicos e Análise Estatística

Os dados ecológicos foram divididos em duas matrizes: uma com as morfoespécies das comunidades (**W**), com as suas respectivas abundâncias; e uma

matriz contendo os dados ambientais (E). Se investigou as comunidades de Collembola utilizando-se a Análise de Coordenadas Principais (PCoA) baseada na distância euclidiana após transformação de Hellinger. Utilizou-se a função “vegan::vegdist” para se calcular a distância entre as matrizes, e a função “stats::cmdscale” para rodar a PCoA (Oksanen *et al.*, 2022). Após isso, foi feita uma Análise Multivariada com Permutações (PERMANOVA) com 999 permutações, utilizando-se a função “vegan::adonis2” para testar se há diferenças estatísticas da composição de espécies entre os diferentes usos da terra.

Foram utilizadas análises de diversidade beta para avaliar se composição de espécies de Collembola nas áreas convertidas em monoculturas de soja foram resultado de uma substituição após a conversão, ou representam um subconjunto das espécies originalmente observadas no campo. Assim, partimos do princípio que as áreas de campo nativo correspondem ao estado anterior à monocultura de soja. Para este teste foi utilizada a função “betapart::beta.temp” (Baselga e Orme, 2012) para analisar as dissimilaridades utilizando o Índice de Dissimilaridade de Sørensen ( $\beta$ SOR). Também foram calculados os níveis de substituição (Índice de Dissimilaridade de Simpson,  $\beta$ SIM) e a nidificação (nidificação resultante do índice de dissimilaridade,  $\beta$ SNE). (Baselga, 2010).

Quanto à diversidade alfa, foram calculados os índices de Shannon ( $H'$ ), que considera a riqueza de espécies em relação a sua abundância, e o índice de Equitatividade de Pielou ( $J$ ), que indica se as diferentes espécies apresentam abundâncias similares ou divergentes entre as comunidades (Magurran, 2013; Gotelli e Elisson, 2016). Tanto  $H'$  quanto  $J'$  foram calculadas utilizando-se a função “vegan:diversity” (Oksanen *et al.*, 2022). Para melhor caracterizar as comunidades, a riqueza de espécies ( $S$ ) também foi analisada pelo método de rarefação, utilizando-se a função “iNEXT::iNEXT” (Hsieh *et al.*, 2022). Todos os índices ecológicos tiveram sua normalidade e homoscedasticidade verificadas *a priori* utilizando-se respectivamente o teste de Shapiro-Wilk e de Levene. Para isso, foram aplicadas as funções “stats::shapiro.test” e “DescTools::LeveneTeste”.

Os efeitos do uso da terra nos índices foram avaliados usando os Modelos Lineares Mistos (LMM), com a função “nlme:lme” (Pinheiro *et al.*, 2022). As diferenças entre os usos da terra foram consideradas efeitos fixos, e cada par aninhado dentro dos sítios amostrais foi inserido como efeito aleatório.

$$\text{Model}_1 = \text{lme}(y \sim \text{uso}, \text{random} = \sim 1 \mid \text{sítio/par}, \text{data})$$

Foi feita uma análise de Análise de Redundância (RDA), para avaliar as relações das variáveis ambientais sobre as comunidades, utilizando-se a função “*rda::simpleRDA*” (Borcard *et al*; 2011). Para explorar a relação dos fatores ambientais nos índices ecológicos, fizemos um correlograma (representação gráfica da matriz de correlação calculada usando *r* de Pearson) para identificar correlações bivariadas entre as variadas. O intervalo de confiança foi fixo em 0,95 e o limiar do valor de *p* foi definido *a priori* em 0,10. Posteriormente, para o efeito da vegetação controlando as características ambientais geoclimáticas (solo, elevação e temperatura), partimos do pressuposto que essas características são similares dentro de cada sítio. Dessa forma, o uso da terra aninhado em sítios regionais foi inserido em LMM como variáveis aleatórias.

$$\text{Model}_2 = \text{lme}(y \sim \text{preditor (vegetação)}, \text{random} = \sim 1 \mid \text{sítio/uso}, \text{data})$$

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R (versão 4.1.2) e foram considerados dados significativos quando o valor de *p* foi menor que 0,10.

## RESULTADOS

### 1 - Inventário da fauna de Collembola nos diferentes usos do solo

Foram coletados, triados e identificados 975 espécimes de Collembola, divididos em 33 morfoespécies, pertencendo a sete famílias e 20 gêneros, como indicado na Tabela 1. Para as áreas de campo nativo foram coletados 359 espécimes, enquanto nas áreas convertidas em plantio de soja foram coletados 616 espécimes. A princípio, nenhuma destas morfoespécies apresentou correspondência clara com algum táxon já identificado ou descrito no Brasil, ou outro país da região Neotropical, o que se sugere que ao menos parte destas morfoespécies sejam potencialmente espécies ainda não descritas.

TABELA 1 – Abundância das morfoespécies coletadas em áreas de campo nativo e de plantio de soja no Pampa do Rio Grande do Sul, Brasil.

Família/Morfoespécie	Abundância Total Campo	Abundância Relativa Campo (%)	Abundância Total Soja	Abundância Relativa Soja (%)
Bourletiellidae / <i>Prorastriones</i> sp1	23	6,41	5	0,81
Bourletiellidae / <i>Rastriones</i> sp1	1	0,28	8	1,29
Brachystomellidae / <i>Brachystomella</i> sp1	78	21,73	5	0,81
Entomobryidae / <i>Cyphoderus</i> sp1	4	1,12	3	0,49
Entomobryidae / <i>Entomobrya</i> sp1	17	4,47	56	9,09
Entomobryidae / <i>Entomobrya</i> sp2	120	33,43	78	12,66
Entomobryidae / <i>Lepidocyrtus</i> sp1	2	0,56	0	0
Entomobryidae / <i>Lepidocyrtus</i> sp1	18	5,01	215	34,90
Entomobryidae / <i>Lepidocyrtus</i> sp2	1	0,28	3	0,49
Entomobryidae / <i>Pseudosinella</i> sp1	1	0,28	0	0
Entomobryidae / <i>Pseudosinella</i> sp2	0	0	48	7,79
Entomobryidae / <i>Seira</i> sp1	17	4,73	14	2,27
Entomobryidae / <i>Trogolaphysa</i> sp1	0	0	1	0,16
Isotomidae / <i>Folsomia</i> sp1	3	0,86	1	0,16
Isotomidae / <i>Hemisotoma</i> sp1	0	0	4	0,65
Isotomidae / <i>Isotomurus</i> sp1	0	0	1	0,16
Isotomidae / <i>Isotomurus</i> sp2	0	0	1	0,16
Isotomidae / <i>Isotomurus</i> sp3	2	0,56	64	10,39
Isotomidae / <i>Isotomurus</i> sp4	3	0,86	6	0,97
Isotomidae / <i>Proisotoma</i> sp1	1	0,28	3	0,48
Isotomidae / <i>Proisotoma</i> sp2	0	0	4	0,65
Isotomidae / <i>Proisotoma</i> sp3	8	2,23	9	1,46
Isotomidae / <i>Proisotoma</i> sp4	0	0	1	0,16
Katiannidae / <i>Katianna</i> sp1	4	1,11	19	3,08
Katiannidae / <i>Katianna</i> sp2	1	0,28	0	0
Katiannidae / <i>Sminthurinus</i> sp1	2	0,56	4	0,65
Orchesellidae / <i>Dicranocentrus</i> sp1	1	0,28	8	1,29
Sminthurididae / <i>Denisiella</i> sp1	17	4,73	2	0,32
Sminthurididae / <i>Sminthurides</i> sp1	5	1,39	4	0,65
Sminthurididae / <i>Sminthurides</i> sp2	2	0,56	0	0
Sminthurididae / <i>Sminthurides</i> sp3	3	0,86	0	0
Sminthurididae / <i>Sphaeridia</i> sp1	20	5,57	47	7,63
Sminthurididae / <i>Sphaeridia</i> sp2	5	1,39	2	0,32
<b>Total por área</b>	<b>359</b>		<b>616</b>	
<b>Total Geral</b>		<b>975</b>		

Das 33 morfoespécies encontradas, 22 tiveram ocorrência tanto em áreas de campo quanto de soja. Quatro estiveram restritas a áreas de campo (*Lepidocyrtinus* sp1, *Pseudosinella* sp1, *Sminthurides* sp2 e *Sminthurides* sp3), e sete foram exclusivas de áreas de soja (*Pseudosinella* sp2, *Hemisotoma* sp1, *Isotomurus* sp1, *Isotomurus* sp2, *Proisotoma* sp2, *Proisotoma* sp4 e *Trogolaphysa* sp1). Nas áreas de campo os organismos mais observados foram *Entomobrya* sp2 (33,43% da abundância relativa), *Brachystomella* sp1 (21,73%) e *Prorastriopes* sp1 (6,41%), enquanto nas áreas de soja foram *Lepidocyrtus* sp1 (34,90% de abundância relativa) *Entomobrya* sp2 (12,65%) e *Isotomurus* sp3 (10,39%).

A análise de rarefação (Figura 3) indicou a possibilidade de aumento na diversidade de espécies encontradas nas amostragens tanto nas áreas de campo nativo quanto de soja. Esta previsão de maior número de espécies se refletiu em todas as localidades observadas.

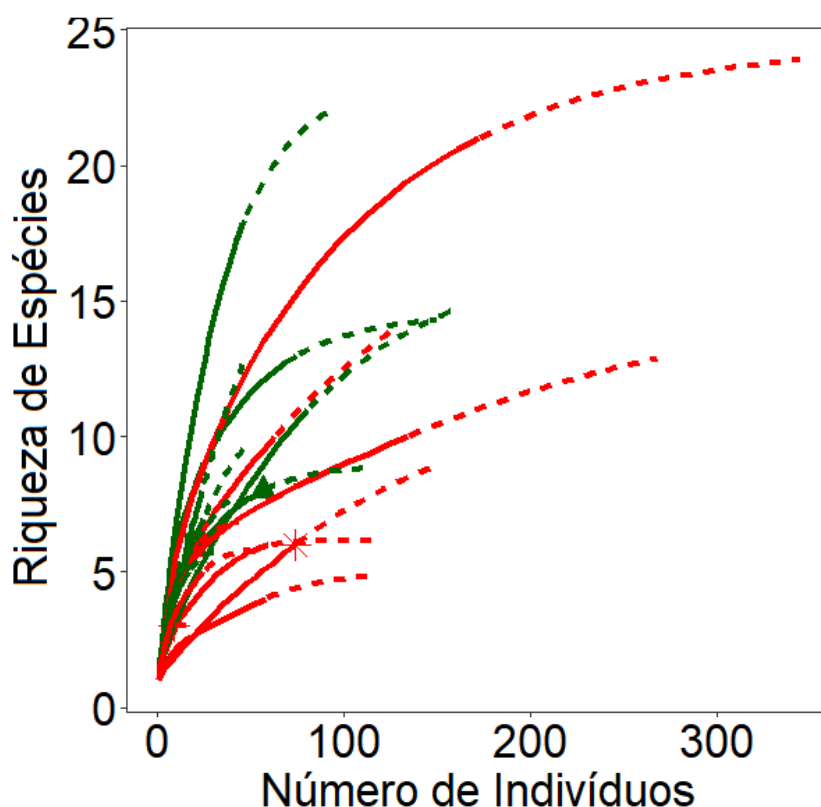


Figura 3 – Análise de Rarefação indicando a estimativa de riqueza de espécies em função do número de indivíduos nas áreas coletadas de campo nativo (verde) e soja (vermelho) no Pampa do RS, Brasil.

## 2 – Efeitos da conversão de campo em soja

A análise de PERMANOVA indicou mudança na composição de espécies causada pela conversão de campo nativo em lavoura de soja, sendo esse efeito significativo ( $F = 2,9714$ ,  $R^2 = 0,15663$ ,  $p = 0,002$ ). Essa diferença pode ser visualizada na ordenação PcoA da Figura 4. As áreas de lavoura de soja caracterizaram-se por maior associação com as morfoespécies *Seira* sp1, *Rastriops* sp1 e *Lepidocyrtus* sp1, enquanto *Entomobrya* sp2 foi mais associada com as regiões de campo nativo. A maior dispersão dos pontos referentes às áreas de soja na PcoA indica uma variabilidade menor na composição das comunidades se comparada com as áreas de campo nativo.

Os componentes de diversidade beta de cada par indicam que as diferenças entre a composição das comunidades ocorreram sob maior efeito de substituição ( $\beta_{sim}$  variando entre 0 e 0,6) que por efeitos de aninhamento ( $\beta_{nes}$  variando entre 0 e 0,29). A tabela contendo os valores de diversidade beta completa encontra-se nos anexos (Tabela 1S).

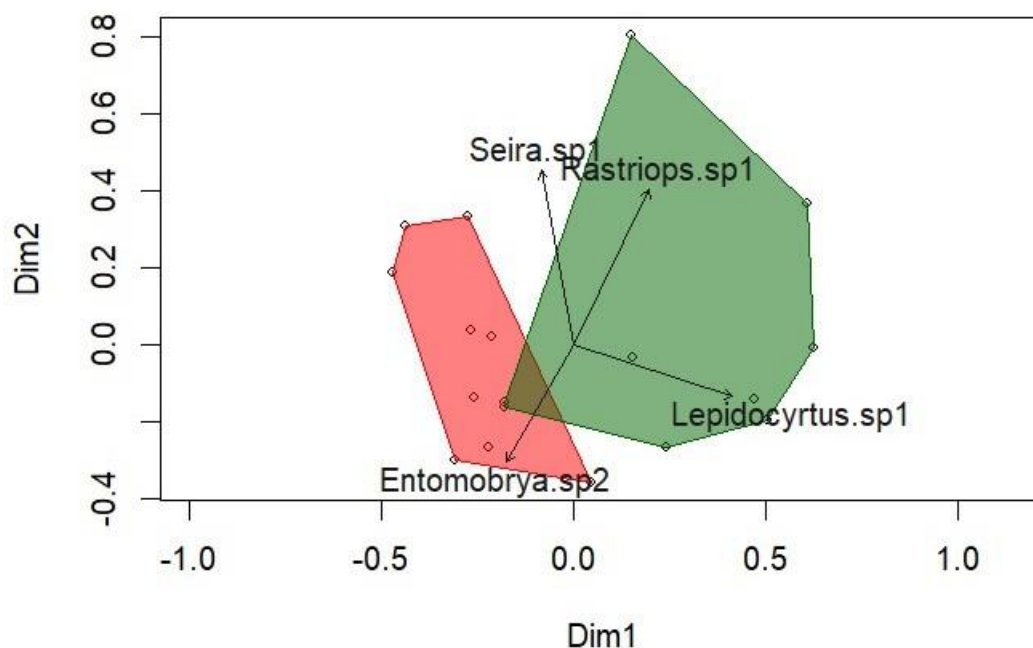


Figura 4 – Composição das espécies nas comunidades avaliadas demonstradas pela PcoA, sendo o polígono vermelho associado à soja enquanto o verde está associado ao campo nativo, no Pampa do RS, Brasil.

Observa-se que houve um aumento na abundância de Collembola nas áreas convertidas para soja (Figura 5A), sendo essa alteração estatisticamente significativa ( $p = 0,05$ ), com aumento relativo de 71,58%. Porém, embora a riqueza de espécies (Figura

5B) não tenha variado entre os usos da terra, observa-se uma tendência a empobrecimento nas áreas de soja. Observamos também que a Diversidade de Shannon reduziu na área convertida ( $p = 0,0538$ , Figura 5C), sendo o Índice de Diversidade de Shannon 1,67 no campo nativo e 1,2033 nas áreas de soja (Figura 5C). Por fim, o Índice de Equitatividade de Pielou ( $p = 0,1305$ ) não apresentou diferença significativa entre os manejos de solo estudados (Figura 5D), apesar de também apresentar uma tendência de redução nas áreas de soja.

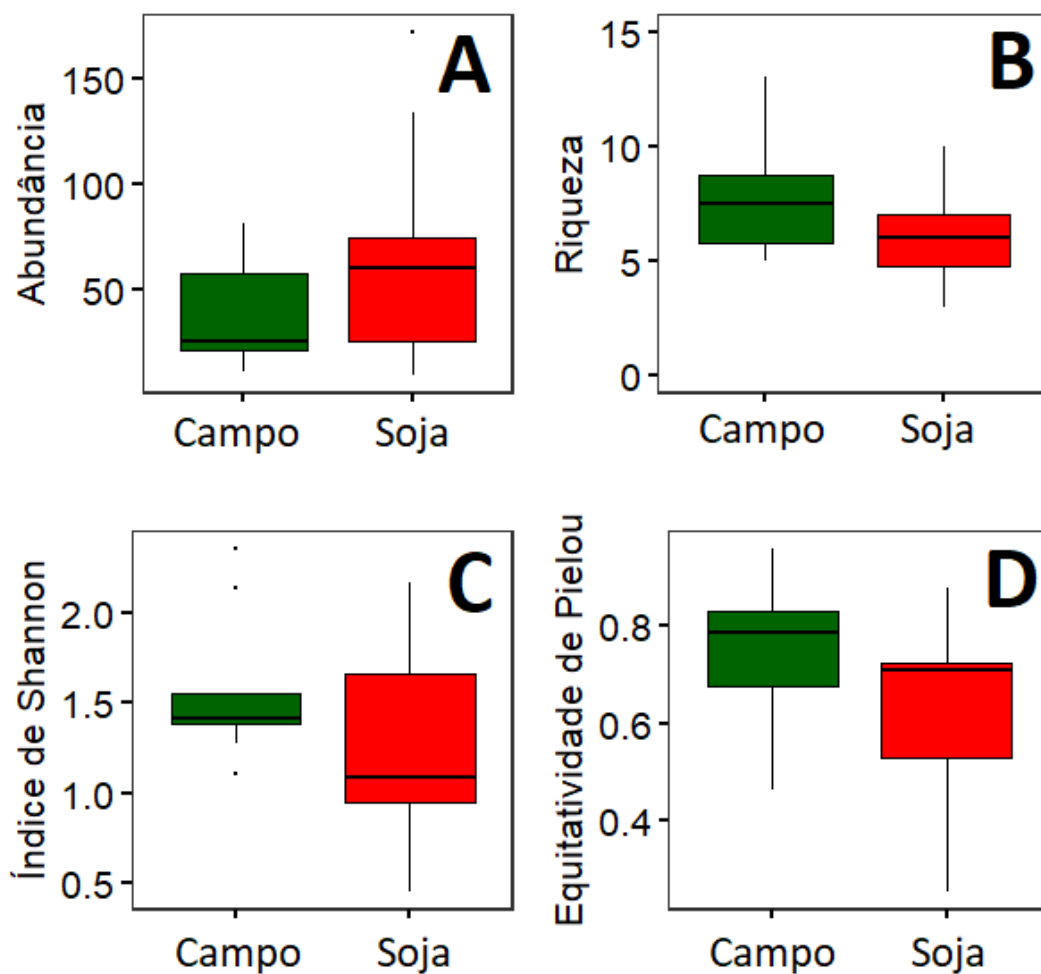


Figura 5 - Boxplots indicando as comparações de índices ecológicos das comunidades de Collembola entre áreas de campo nativo (verde) e de plantio soja (vermelho) no Pampa do RS, Brasil: (A) abundância de espécies; (B) riqueza de espécies; (C) índice de diversidade de Shannon e; (D) índice de equitatividade de Pielou.

### 3 – Efeito das variáveis ambientais na comunidade de Collembola

A análise de RDA (Figura 6) indicou que os fatores ambientais que mais influenciaram a composição de espécies de Collembola foram: dominância de plantas ( $R^2_{adj} = 0,12$ ) diversidade de plantas ( $R^2_{adj} = 0,09$ ), riqueza de plantas ( $R^2_{adj} = 0,08$ ), riqueza de não-gramíneas ( $R^2_{adj} = 0,07$ ) e mediana da altura vegetal ( $R^2_{adj} = 0,07$ ).

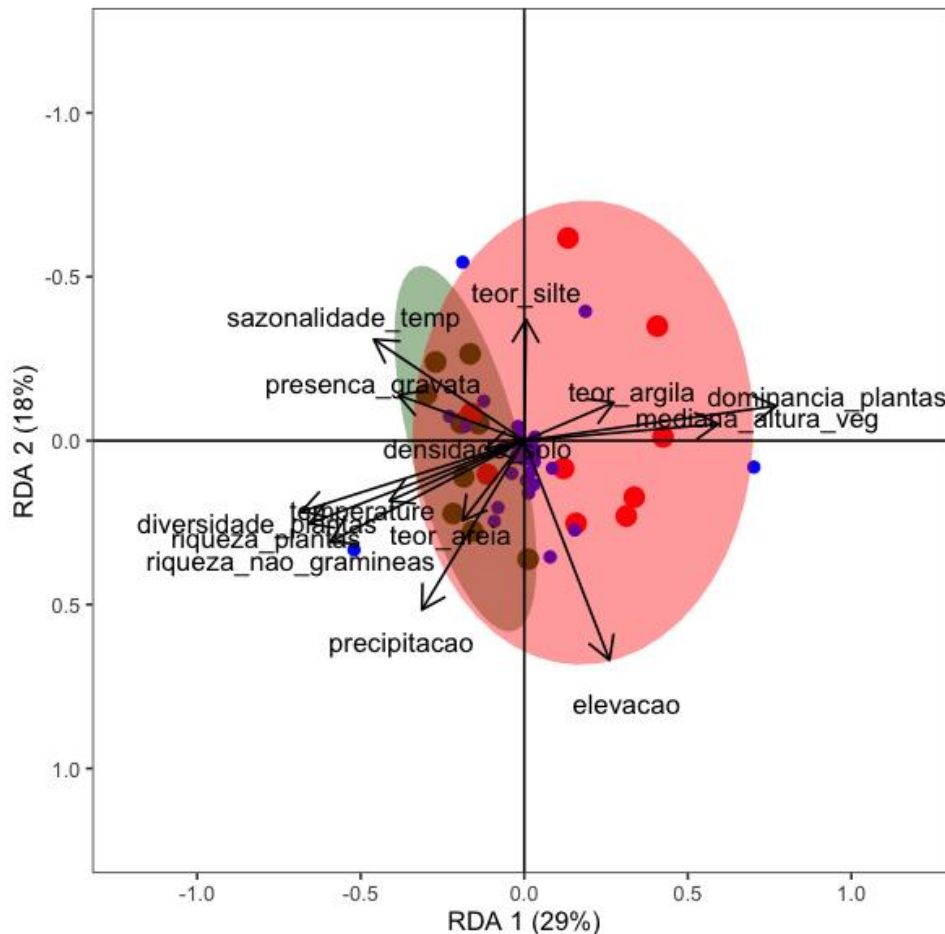


Figura 6 – análise de RDA indicando os fatores ambientais mais relacionados com as comunidades nas áreas de campo (verde) e soja (vermelho). Diversidade de plantas, riqueza de plantas e riqueza de não-gramíneas demonstraram-se mais associadas às áreas de campo nativo, enquanto dominância de plantas e mediana da altura vegetal com as áreas de soja.

A matriz de correlação apresentada na Figura 7 evidenciou que índices de riqueza foram afetados negativamente pela sazonalidade da temperatura ( $p = 0,025$ ) e positivamente pela elevação ( $p = 0,006$ ), enquanto o Índice de Diversidade de Shannon ( $H_{ext}$ ) extrapolado usando iNEXT foi afetado positivamente pela elevação ( $p = 0,016$ ), riqueza de plantas ( $p = 0,013$ ), diversidade de plantas ( $p = 0,043$ ) e riqueza de plantas não-gramíneas ( $p = 0,017$ ). A partir dos LMM, observamos que o efeito das variáveis



preditoras relativas à vegetação sobre  $H_{ext}$  continuaram significativas, sendo  $p = 0,02$  para riqueza de plantas,  $p = 0,03$  para riqueza de plantas não gramíneas,  $p = 0,06$  para diversidade de plantas e  $p = 0,08$  para dominância de plantas.

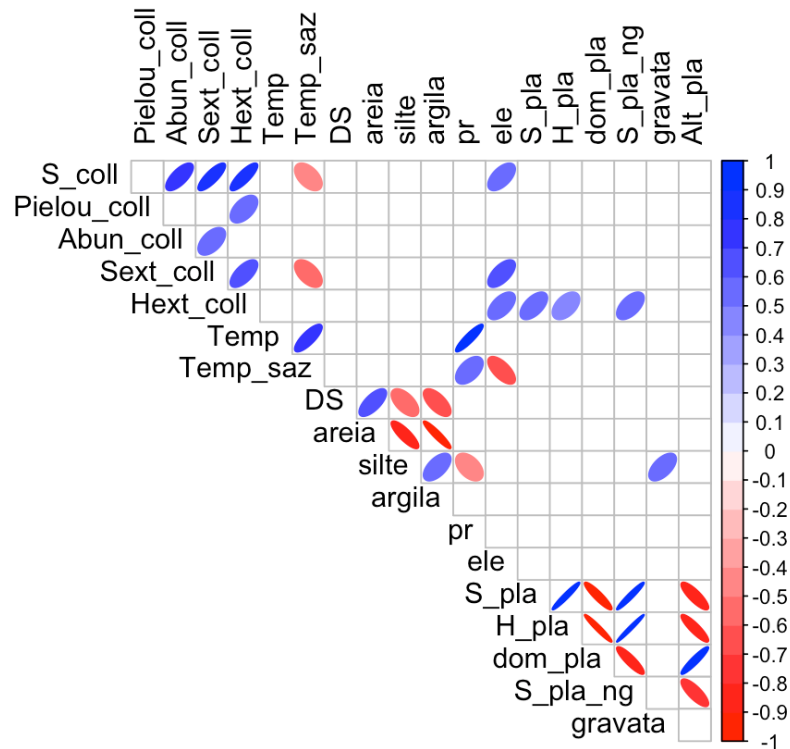


Figura 7 – Correlação bivariada entre os índices ecológicos e as variáveis ambientais. Elipses azul indica correlação positiva e vermelhas negativas. O formato da elipse indica a força da correlação. As abreviações indicam: S\_coll (riqueza de Collembola), Pielou\_coll (Equitatividade de Collembola), Sext\_coll (riqueza expandida de Collembola), Hext\_coll (Diversidade de Collembola), Temp (temperatura), Temp\_saz (temperatura sazonal) DS (densidade de solo), pr (precipitação), ele (elevação), S\_pla (riqueza vegetal), H\_pla (Diversidade vegetal), dom\_pla (dominância vegetal) e S\_pla\_ng (riqueza de não-gramíneas).

## DISCUSSÃO

### 1 – Inventário de Collêmbolos Epiedáficos

O inventário da fauna deste estudo, complementar ao de Silva *et al.* (2022), trata-se de um dos maiores compilados de biodiversidade de Collembola no Pampa até o presente momento, tendo sido feitas coletas em diversas regiões do estado e em diferentes usos da terra. Um número tão grande de morfótipos contrasta com o baixo número de espécies descritas registradas em todo o estado do Rio Grande do Sul, constando com somente três registros até 2023 (Zepellini e Bellini *et al.*, 2023). Comparando aos inventários de morfoespécies nos trabalhos de Winck *et al.*, (2019), Silva *et al.*, (2022) e Jorge *et al.*, (2023), encontramos em nosso trabalho os primeiros registros para os gêneros *Pseudosinella* Schäffer, 1897, *Hemisotoma* Bagnall, 1949, *Denisiella* Folsom & Mills, 1938 e *Sminthurides* Börner, 1900 para o estado do Rio Grande do Sul.

A análise de rarefação demonstrou que é esperado encontrar-se um número ainda maior de espécies com o aumento na abundância coletada, seja pelo aumento no esforço amostral, seja por modificações no protocolo de coleta (por exemplo, tempo de exposição das armadilhas em campo, maior diâmetro e volume dos *pitfalls*). Gotelli e Colwell (2001) indicam a importância de se utilizar curvas de rarefação na predição de índices de abundância e diversidade em ambientes em que há potencial grande diversidade taxonômica, já que estes podem ser subestimados por limitações metodológicas de coleta. No trabalho de Winck *et al.*, (2017), conduzido no município Eldorado do Sul – RS em diferentes usos da terra, houve maior esforço amostral, pois, as armadilhas permaneceram em campo por 7 dias, o que possibilitou a coleta de 3093 espécimes de Collembola.

### 2 – Influência do uso da terra nas comunidades de Collembola

O aumento na abundância de Collembola em áreas convertidas em monoculturas de soja observado em nosso trabalho vai de encontro com os resultados de Góes *et al.* (2021), que conduziram estudo comparando regiões de campo nativo, mata nativa e lavoura de azevém/soja no município de São Gabriel – RS; e de Munhoz *et al.* (2021), comparando as comunidades entre campo nativo e soja em Vale Verde – RS. Ambos os estudos observaram o aumento na abundância de Collembola nas áreas convertidas para uso agrícola, quando comparado aos ambientes nativos. Baretta *et al.* (2006) sugerem que métodos de manejo que envolvam o revolvimento do solo (como utilizados no

plantio da soja), favoreçam o aumento da abundância local de Collembola por dois fatores: aumento da atividade microbiana e da disponibilidade de material orgânico particulado antes protegidos no interior dos agregados. É esperado que após o revolvimento do solo haja um aumento da atividade microbiana do solo devido a maior aeração e exposição da matéria orgânica protegida. Sabendo que Collembola apresenta preferência alimentar por fungos (Bellini *et al.*, 2023), é provável que a maior atividade microbiana tenha atraído esses organismos para a área de soja. O segundo fator é que a exposição da matéria orgânica, sobretudo das frações particuladas (>53 micrometros), aumenta a disponibilidade de recursos para essa fauna. Em ambos os casos, apesar dos demais fatores serem limitantes para a fauna de Collembola, o aumento de recursos pode ter favorecido o aumento da população de espécies mais adaptadas. Associado a isso, a qualidade dos recursos disponíveis nas áreas de soja, apesar de abundantes, são mais simplificados, pois a conversão gerou um habitat dominado pela presença de uma espécie (Chauvat *et al.*, 2003).

Por fim, devido ao uso de inseticidas (e menor diversidade de habitat), pode ser esperada uma redução na população de artrópodes predadores de Collembola dentro das áreas convertidas, o que favoreceria um aumento populacional de algumas espécies (Morente *et al.*, 2018). Frampton *et al.*, (2007) apontam que áreas de plantio de trigo tratadas com o inseticida Cypermethrin apresentaram aumento nas populações de Collembola, juntamente com a redução da abundância de seus predadores. Estes dados poderiam ser atribuídos a fenômenos de ressurgência clássica, já observados anteriormente nos trabalhos de Sheals (1953) e Hardin (1995), nos quais se levanta a hipótese de que a extinção imediata de organismos predadores de Collembola (como aranhas e besouros) abriria oportunidade para o ressurgimento (ou recuperação) de uma população nova posteriormente. Dados semelhantes também foram encontrados no trabalho de Fountain *et al.*, (2007), em que se detectou aumento na abundância de Collembola (mas a redução de sua riqueza e diversidade) em estações experimentais na Escócia, onde comparou-se áreas em que houve utilização do inseticida Clorpirifós. Contrário a nossos achados, já foi observado que diferentes agroquímicos, em especial organofosforados, podem levar a redução na abundância de colêmbolos em áreas agrícolas (Frampton 1997, 2000, 2002). O trabalho de Fountain *et al* (2007) observou a redução da abundância de colêmbolos nos tratamentos com Clorpirifós, contrastando com os resultados observados por Frampton (2007). Ao que parece, determinados taxa de colêmbolos apresentam diferentes níveis de resiliência a diferentes inseticidas,

havendo resultados apontando tanto para a redução quanto para o aumento da abundância desses animais em áreas, conforme a substância utilizada e ao cultivo de substituição (Joy e Chakravorty 1991; Edwards *et al.*, 1966; Fox, 1964). Nas áreas de soja deste estudo, uma ampla gama de inseticidas foi utilizada, sendo a grande maioria pertencentes a família química dos organofosforados (ex. Acefato), piretroides (ex. Bifentrina) e neonicotinóides (ex. Tiametoxan).

Nossos resultados são contrastantes aos publicados por Silva *et al.* (2022) e Jorge *et al.*, (2022), em que se investigou o efeito da conversão de campo nativo para eucalipto sobre a comunidade de colêmbolos no Pampa brasileiro. Analisando ambos os resultados obtidos nas áreas estudadas podem-se evidenciar que os efeitos da conversão para silvicultura de eucalipto trouxeram efeitos claramente mais drásticos para as comunidades de Collembola e seus índices ecológicos do que a conversão para soja.

Com base em nossa análise de beta-diversidade observamos que a comunidade de Collembola nas áreas de soja foi resultante principalmente da substituição de espécies, comparado com o aninhamento. Assim, acreditamos que as espécies dominantes nas áreas de soja, como *Lepidocyrtus* sp1 e *Entomobrya* sp2, estão colonizando o ambiente e aumentando suas populações devido a uma possível resistência aos pesticidas utilizados, ao manejo do solo e à substituição vegetal, aproveitando-se também da diminuição da competição interespecífica e redução de pressão de predação. Entretanto, essa hipótese precisa ser mais bem estudada com um novo desenho experimental, capaz de avaliar diferentes inseticidas, além das comunidades de predadores em ambos os manejos de solo.

Outra hipótese para explicar o aumento na abundância poderia ser decorrente dos campos de soja durante o momento de as coletas encontrarem-se em período de floração. O dossel da comunidade vegetal levaria a um maior sombreamento da área, estabilizando o microclima do solo (Suárez *et al.* 2019). Também há o fato de a soja ser uma leguminosa, o que alteraria as comunidades microbiológicas do solo (Mendes *et al.*, 2015), gerando recursos alimentares mais atrativos para determinados Collembola. É importante ressaltar que essa maior abundância não é capaz de indicar alterações temporais em todo o ciclo de vida da soja, levantando a hipótese de que o período da floração fora particularmente propício para este aumento.

### 3 – Influência das variáveis ambientais nas comunidades de Collembola

A correlação positiva entre o Índice de Diversidade de Shannon da comunidade de Collembola e a estruturação vegetal (riqueza, diversidade, e diversidade de não-gramíneas) foi observada em nosso trabalho. De fato, os dados da análise de RDA indicaram que estes foram os fatores que mais demonstraram efeitos sobre a composição das comunidades. Segundo Staude *et al.* (2018), cujo estudo avaliou a perda de espécies e a homogeneização taxonômica de comunidades vegetais no Bioma Pampa, essas alterações podem se propagar para os demais níveis na cadeia trófica. Isso afetaria diversos organismos, incluindo os Collembola. Em ambientes campestres suíços e alemães, o mesmo efeito da vegetação sobre as comunidades de Collembola foi observada (Salamon *et al.* 2004; Sabais *et al.*, 2011). Estes trabalhos afirmam que o efeito positivo da diversidade de plantas sobre as comunidades de Collembola devem estar associados a maior disponibilidade e qualidade de alimentos (de forma direta pelo serrapilheira em si, de forma indireta pelos fungos e bactérias decompositores que colonizam a serrapilheira), além de alterações no microclima proporcionados pela estrutura vegetal, como presença de sombreamento, retenção de umidade e aeração dos solos (Staude *et al.* 2018; Góes *et al.* 2021). É esperado que essas modificações na comunidade da fauna causada pela vegetação afetem o funcionamento do solo. Valencia *et al.* (2018) demonstraram um efeito cascata da vegetação sobre a fauna de solo, que por sua vez afetou a multifuncionalidade do solo. Em Cramer e Willig (2005) são apontados os efeitos positivos da heterogeneidade ambiental, particularmente da flora, na biodiversidade. Por outro lado, a redução da riqueza de organismos no solo pode indicar uma simplificação da cadeia trófica no solo (Mariotte *et al.*, 2018). O aumento da população de uma ou mais espécie de Collembola pode ser um indicativo deste processo de simplificação nas áreas de soja. Como consequência, é esperado que o *feedback* entre solo e planta seja também afetado, considerando que essa simplificação pode refletir na ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo (Mariotte *et al.*, 2018). Tsiafouli *et al.*, (2015) mostrou que a redução da biodiversidade edáfica e simplificação de cadeias tróficas delimitam um padrão observado em diversos agroecossistemas de uso intenso da terra na Europa. Precisamente, os autores observaram a perda de diversidade funcional e menor biomassa de organismos da fauna edáfica em todas as áreas intensivamente manejadas.

## CONCLUSÃO

Nosso trabalho evidenciou mudanças na composição e diversidade de Collembola em áreas de campo convertidas para soja. Sobretudo, foi observado que essa mudança teve forte relação com a heterogeneidade vegetal. O aumento da homogeneidade promovido pela monocultura da soja pode favorecer determinados grupos de Collembola em colonizar ambientes alterados artificialmente, que possivelmente está relacionado com os atributos funcionais destes organismos que aumentem sua resistência e adaptação ao distúrbio. Entretanto, é fundamental nos aprofundarmos sobre as características funcionais das espécies para que possamos melhor compreender esses mecanismos. Assim como já bem evidenciado na literatura, o aumento da dominância de uma espécie e redução da riqueza e diversidade da fauna do solo podem gerar uma simplificação nas cadeias tróficas no solo e redução de sua funcionalidade, o que potencialmente pode acarretar menor fertilidade e produtividade a médio e longo prazo. Nossos resultados apontam para potenciais danos causados pela monocultura de soja no bioma Pampa, servindo como alerta para perda de serviços ecossistêmicos da região.

## APÊNDICE

TABELA S1 - Valores de beta-diversidade ( $\beta$ SIM,  $\beta$ SNE e  $\beta$ SOR) indicados individualmente nos pares Campo-Soja (C-SO) no Pampa do RS, Brasil. As siglas indicam C-SO para os pares Campos-Soja, e os municípios de Aceguá (ACE), Jarí (JAR), São Gabriel (SAG) e Santo Antônio das Missões (SAM).

Pares C-SO	$\beta$ SIM	$\beta$ SNE	$\beta$ SOR
GS_ACE_1	0.3	0.17	0.5
GS_ACE_2	0.3	0.09	0.43
GS_ACE_3	0.5	0	0.5
GS_JAR_1	0.15	0.19	0.35
GS_JAR_2	0	0.28	0.28
GS_JAR_3	0.5	0.07	0.57
GS_SAG_1	0.6	0.02	0.62
GS_SAM_1	0.6	0	0.6
GS_SAM_2	0.5	0.03	0.64

TABELA S2 – Períodos de coletas e coordenadas geográficas dos pontos pertencentes aos pares Campo-Soja no Pampa do RS, Brasil (C-SO).

Pares C-SO	Período de Coleta	Longitude	Latitude
ACE_Campo_1	19/03/2019 até 24/03/2019	-54.180158	-31.661731
ACE_Campo_2	19/03/2019 até 24/03/2019	-54.161901	-31.658022
ACE_Campo_3	19/03/2019 até 24/03/2019	-54.157217	-31.646991
ACE_Soja_1	19/03/2019 até 24/03/2019	-54.178023	-31.663188
ACE_Soja_2	19/03/2019 até 24/03/2019	-54.158666	-31.659174
ACE_Soja_3	19/03/2019 até 24/03/2019	-54.156037	-31.645304
JAR_Campo_1	19/01/2019 até 26/01/2019	-54.349047	-29.350437
JAR_Campo_2	19/01/2019 até 26/01/2019	-54.319443	-29.366239
JAR_Campo_3	19/01/2019 até 26/01/2019	-54.293581	-29.345228
JAR_Soja_1	19/01/2019 até 26/01/2019	-54.346231	-29.350448
JAR_Soja_2	19/01/2019 até 26/01/2019	-54.318366	-29.363779
JAR_Soja_3	19/01/2019 até 26/01/2019	-54.292225	-29.346638
SAG_Campo_1	18/02/2019 até 22/02/2019	-54.308095	-30.115159
SAG_Soja_1	18/02/2019 até 22/02/2019	-54.296608	-30.127018
SAM_Campo_1	18/02/2019 até 22/02/2019	-55.466279	-28.494166
SAM_Campo_2	18/02/2019 até 22/02/2019	-55.462446	-28.500403
SAM_Soja_1	18/02/2019 até 22/02/2019	-55.465741	-28.492727
SAM_Soja_2	18/02/2019 até 22/02/2019	-55.463518	-28.501518

## Referência bibliográficas

- ANDRADE, Bianca O. et al. Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. **Applied Vegetation Science**, v. 22, n. 1, p. 168-184, 2019.
- ANHOLETO, Carla Daiana; MASSUQUETTI, Angélica. A soja brasileira e gaúcha no período 1994-2010: uma análise da produção, exportação, renda e emprego. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, p. 379-404, 2015
- ARLÉ, R.; MENDONÇA, M.C. Estudo preliminar das espécies de *Dicranocentrus* Schött, 1893, ocorrentes no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro (Collembola). **Rev. Bras. Biol.** 1982, 42, 41–49.
- BAGGIO, Rodrigo et al. To graze or not to graze: A core question for conservation and sustainable use of grassy ecosystems in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 256-266, 2021.
- BARETTA, Dilmar et al. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 2, p. 108-117, 2006.
- BASELGA, Andrés. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Global ecology and biogeography**, v. 19, n. 1, p. 134-143, 2010.
- BASELGA, A.; ORME, C.D.L. Betapart: An R package for the study of beta diversity. **Methods Ecol. Evol.** 2012, 3, 808–812
- BEHLING, Hermann *et al*, Late-Holocene fire history in a forest-grassland mosaic in southern Brasil: Implications for conservation, **Applied Vegetation Science**, v. 10, n. 1, p. 81–90, 2007.
- BELLINGER, P. F., CHRISTIANSEN, K. A., AND JANSSENS, F. (1996–2023). **Checklist of the Collembola of the World**. (Acessado em: 03 de Fevereiro de 2023)
- BELLINI, B.C.; GODEIRO, N.N. Novos registros de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) para áreas úmidas do semiárido do Brasil. **Artrópodes do Semiárido II: Biodiversidade e Conservação**, 1st ed.; Bravo, F., Ed.; Méris Produção Editorial: São Paulo, Brazil, 2017; pp. 28–53.
- BELLINI, Bruno Cavalcante; WEINER, Wanda Maria; WINCK, Bruna Raquel. Systematics, Ecology and Taxonomy of Collembola: Introduction to the Special Issue. **Diversity**, v. 15, n. 2, p. 221, 2023.
- BETSCH, J.M. Éléments pour une monographie des Collemboles Symphypléones (Hexapodes, Aptérygotes). **Mém. Mus. Natl. Hist. Nat. Sér. A Zool.** 1980, 116, 1–227
- BORCARD, Daniel et al. **Numerical ecology with R**. New York: springer, 2011.



- BORGES, César Henrique Alves *et al*, Artrópodes edáficos em fragmentos de floresta ombrófila aberta na Paraíba, Brasil, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 26–32, 2016.
- BÖRNER, C. Neue Cyphoderinen. **Zoologischer Anzeiger**, 1913 41, 274–284.
- BRETFELD, G. Synopses on Palaearctic Collembola Volume 2: Symphypleona. **Abh. Ber. Nat. Görlitz** 1999, 71, 1–318
- BRUSSAARD, Lijbert, Biodiversity and ecosystem functioning in soil, **Ambio**, p. 563–570, 1997.
- CARREÑO-ROCABADO, Geovana *et al*. Effects of disturbance intensity on species and functional diversity in a tropical forest. **Journal of Ecology**, v. 100, n. 6, p. 1453–1463, 2012.
- CHAUVAT, Matthieu; ZAITSEV, Andrei S.; WOLTERS, Volkmar, Successional changes of Collembola and soil microbiota during forest rotation, **Oecologia**, v. 137, p. 269–276, 2003
- CHAZDON, Robin L. *et al*. Rates of change in tree communities of secondary Neotropical forests following major disturbances. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 362, n. 1478, p. 273–289, 2007.
- CHRISTIANSEN, K.; BELLINGER, P. **The Collembola of North America North of Rio Grande, A Taxonomy Analysis**, 2nd ed.; Grinnell College: Grinnell, IA, USA, 1998; pp. 1–1520.
- CIPOLA, G.N.; SILVA, D.D.; BELLINI, C.B. 2018. Class Collembola. **Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates**. 4 ed.: Elsevier, capítulo 2, p.11 – 55
- CORDEIRO, José LP; HASENACK, Heinrich, Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul, **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**, p. 285–299, 2009
- COYLE, David R. *et al*, Soil fauna responses to natural disturbances, invasive species, and global climate change: Current state of the science and a call to action, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 110, p. 116–133, 2017.
- CRAMER, Michael J.; WILLIG, Michael R., Habitat heterogeneity, species diversity and null models, **Oikos**, v. 108, n. 2, p. 209–218, 2005
- CULIK, Mark P.; ZEPPELINI, Douglas. Diversity and distribution of collembola (arthropoda: hexapoda) of Brazil. **Biodiversity & Conservation**, v. 12, p. 1119–1143, 2003.
- DA SILVA MENEZES, Luciana *et al*. Plant species richness record in Brazilian Pampa grasslands and implications. **Brazilian Journal of Botany**, v. 41, p. 817–823, 2018.
- DA VIDA PELLENZ, Jessica de Lima; DE ALMEIDA, Mariza; FREITAS, Clailton Ataides, Distribuição espacial do valor da produção da soja no Rio Grande do Sul: distintos retratos de 2000 a 2010, **Geosul**, v. 34, n. 71, p. 86–110, 2019

EDWARDS, C. A.; DENNIS, E. B.; EMPSON, D. W., Pesticides and the soil fauna: effects of aldrin and DDT in an arable field, **Annals of Applied Biology**, v. 60, n. 1, p. 11–22, 1967

FOUNTAIN, Michelle T. *et al*, The effects of the insecticide chlorpyrifos on spider and Collembola communities, **Pedobiologia**, v. 51, n. 2, p. 147–158, 2007

FOX, C. J. S., THE EFFECTS OF FIVE HERBICIDES ON THE NUMBERS OF CERTAIN INVERTEBRATE ANIMALS IN GRASSLAND SOIL, **Canadian Journal of Plant Science**, v. 44, n. 5, p. 405–409, 1964

FRAMPTON, Geoffrey K. The potential of Collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. **Pedobiologia**, v. 41, n. 1, p. 179–184, 1997

FRAMPTON, Geoff K., Recovery responses of soil surface Collembola after spatial and temporal changes in long-term regimes of pesticide use, **Pedobiologia**, v. 44, n. 3, p. 489–501, 2000.

FRAMPTON, Geoff K, Long-term impacts of an organophosphate-based regime of pesticides on field and field-edge Collembola communities, **Pest Management Science**, v. 58, n. 10, p. 991–1001, 2002.

GABRIEL, Alice Poche; DA SILVA, Franciele; FOLETO, Eliane Maria, Áreas Protegidas do Pampa-Argentina, Brasil e Uruguai: análise da distribuição espacial e correlação das diferentes categorias, **Geografia (Londrina)**, v. 30, n. 2, p. 129–147, 2021.

GERHARDT, Marcos. Uma história ambiental da modernização da agricultura: o norte do Rio Grande do Sul. *Revista História: Debates e Tendências*, v. 16, n. 1, p. 166–180, 2016.

GÓES, Querina Ramos de *et al*, Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa, **Ciência Florestal**, v. 31, p. 123–144, 2021

GOTELLI, Nicholas J.; COLWELL, Robert K., Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness, **Ecology letters**, v. 4, n. 4, p. 379–391, 2001.

GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. **Princípios de Estatística em Ecologia**, 2nd ed.; Artmed Editora: Porto Alegre, Brazil, 2016; p. 528

HARDIN, Mark R. *et al*, Arthropod pest resurgence: an overview of potential mechanisms, **Crop Protection**, v. 14, n. 1, p. 3–18, 1995

HASENACK, H. *et al*. 2010. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1: 500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo**

**insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos.** Porto Alegre, UFRGS, Centro de Ecologia.

HOPKIN, Stephen P., **Biology of the springtails:(Insecta: Collembola)**, [s.l.]: OUP Oxford, 1997.

HSIEH, T.C.; MA, K.H.; CHAO, A. iNEXT: An R Package for Rarefaction and Extrapolation of Species Diversity (Hill Numbers). **Methods in Ecology and Evolution** (in Revision). Disponível online em: <https://cran.r-project.org/web/packages/iNEXT/index.html> (Acessado em: 01 de Fevereiro de 2022)

JORDANA, R.; ARBEA, J.I.; SIMÓN, C.; LUCIÀÑEZ, M.J. Fauna Iberica. Vol. 8. Collembola Poduromorpha; **Consejo Superior de Investigaciones Científicas**: Madrid, Spain, 1997; p. 807.

JORGE, Bruna Claudia S. *et al*, Grassland afforestation with Eucalyptus affect Collembola communities and soil functions in southern Brazil, **Biodiversity and Conservation**, v. 32, n. 1, p. 275–295, 2023

JOY, Vadakepuram Chacko; CHAKRAVORTY, Partha Pratim, Impact of insecticides on nontarget microarthropod fauna in agricultural soil, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 22, n. 1, p. 8–16, 1991

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol. Z.** 2006, 21, 259–263.

KUPLICH, Tatiana Mora; CAPOANE, Viviane; COSTA, Luis Fernando Flenik, O avanço da soja no bioma Pampa, **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 31, p. 83–100, 2018

MAGURRAN, A.E. **Medindo a Diversidade Biológica**, 1st ed.; Editora UFPR: Paraná, Brazil, 2013; p. 235.

MAPBIOMAS PROJECT. **Coleções Mapbiomas**. Disponível online em: <https://mapbiomas.org/download> (Acessado em: 15 de abril de 2022)

MARIOTTE, Pierre et al. Plant–soil feedback: bridging natural and agricultural sciences. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 33, n. 2, p. 129-142, 2018.

MASSOUD, Z. Monographie des Neanuridae, Collemboles Poduromorphes apiéces buccales modifiées. **Biologie de l’Amerique Australe**, 1st ed.; Delamare Deboutteville, C., Rapoport, E.H., Eds.; Éditions du CNRS: Paris, France, 1967; Volume 3, pp. 7–399

MENDES, Lucas W. et al. Soil-borne microbiome: linking diversity to function. **Microbial ecology**, v. 70, p. 255-265, 2015.

MILCHUNAS, Daniel G.; SALA, Osvaldo E.; LAUENROTH, William K., A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure, **The American Naturalist**, v. 132, n. 1, p. 87–106, 1988.

- MORENTE, Marina; CAMPOS, Mercedes; RUANO, Francisca, Evaluation of two different methods to measure the effects of the management regime on the olive-canopy arthropod community, **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 259, p. 111–118, 2018
- MUNHOZ, Andrei et al. Alterações na comunidade de invertebrados do solo de uma área de campo natural convertida em área agrícola na região do Vale do Rio Pardo, RS. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal de Santa Catarina 2021.
- OKSANEN, A.J.; BLANCHET, F.G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; ACLIN, D.; MINCHIN, P.R.; HARA, R.B.O.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; et al. Vegan: **Ecological Diversity**. Disponível online em: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html> (Acessado em: 28 de Fevereiro de 2022)
- OVERBECK, Gerhard E. et al. Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101–116, 2007.
- PALACIOS-VARGAS, J.G. 1985. Microartropodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos). **Tese de Doutorado**, Universidad Nacional Autónoma de México. México. p 132. Press, USA. 344p.
- PETSCH, Carina *et al*, A expansão da cultura de soja no pampa gaúcho: o caso da bacia hidrográfica do rio santa maria, **Revista Geografar**, v. 17, n. 1, p. 47–71, 2022
- PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SARKAR, D.; R Core Team. NLME: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R Package Version 3.1-117. Disponível online em: <http://CRAN.Rproject.org/package=nlme> (Acessado em: 1 de Fevereiro de 2022).
- POTAPOV, M. Synopses on Palaeartic Collembola Volume 3: Isotomidae; **Staaliches Museum für Naturkunde Görlitz**: Görlitz, Germany, 2001; p. 603.
- POTAPOV, Anton M. *et al*, Globally invariant metabolism but density-diversity mismatch in springtails, **Nature Communications**, v. 14, n. 1, p. 674, 2023.
- PRESTES, Rosi Maria; VINCENCI, Kelin Luiza, Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental / Bioindicators as environmental impact assessment, **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473–1493, 2019.
- PROBIO. Cobertura Vegetal do Bioma Pampa–Relatório Técnico, 1st ed.; **Ministério do Meio Ambiente**: Brasília, Brazil, 2007; p. 31
- ROVEDDER, Ana Paula Moreira *et al*, Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa, **Ciência Rural**, v. 39, p. 1051–1058, 2009
- SALEMBIER, C.; ELVERDIN, J.; MEYNARD, J. M., Sistemas de cultivo alternativos desarrollados por productores en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, **RIA. Revista de investigaciones agropecuarias**, v. 41, n. 3, p. 270–281, 2015

SEMA 2002. Lista Oficial da Flora Ameaçada de Extinção do Rio Grande do Sul. In: Decreto Estadual 42099 de 31/12/2002 (ed. Sul SdMAEdRGd). **IBAMA**, Rio Grande do Sul, Brasil.

SHEALS, J. G. Effects of DDT and BHC on soil arthropods. **Nature**, v. 171, n. 4361, p. 978-978, 1953.

SILVA, Clécio Danilo Dias et al. Diversity loss of epigeic Collembola after grassland conversion into Eucalyptus forestry in Brazilian Pampa Domain. **Diversity**, v. 14, n. 6, p. 490, 2022.

SILVA, Monica Nardini da; ANJOS, Flávio Sacco dos, A expansão da soja no município de Jaguarão/RS: análise das percepções através da abordagem narrativa, **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, p. e213748, 2020

SABAIS, Alexander C. W.; SCHEU, Stefan; EISENHAUER, Nico, Plant species richness drives the density and diversity of Collembola in temperate grassland, **Acta Oecologica**, v. 37, n. 3, p. 195–202, 2011

SALAMON, Jörg-Alfred *et al*, Effects of plant diversity on Collembola in an experimental grassland ecosystem, **Oikos**, v. 106, n. 1, p. 51–60, 2004

SOCARRÁS, Ana; IZQUIERDO, I., Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica, **Pastos y Forrajes**, v. 37, n. 1, p. 47–54, 2014.

STAUDE, Ingmar R. et al. Local biodiversity erosion in south Brazilian grasslands under moderate levels of landscape habitat loss. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 3, p. 1241-1251, 2018

STRM DEM–Shuttle Radar Topographic Mission, **Digital Elevation Models**. Disponível online em: <https://srtm.csi.cgiar.org/> (acessado em: 17 de abril de 2022)

SUÁREZ, Leonardo Rodríguez; PINTO, Sandra Patricia Cuarán; SALAZAR, Juan Carlos Suárez. Soil macrofauna and edaphic properties in coffee production systems in Southern Colombia. **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3rd ed.; Embrapa: Brasília, Brasil

TSIAFOULI, Maria A. *et al*, Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe, **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 973–985, 2015

URIBE-HERNÁNDEZ, Raúl *et al*, Colémbolos (Hexapoda) como bioindicadores de la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el sureste de México, **Revista mexicana de biodiversidad**, v. 81, n. 1, p. 153–162, 2010

VALENCIA, Enrique *et al*, Cascading effects from plants to soil microorganisms explain how plant species richness and simulated climate change affect soil multifunctionality, **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5642–5654, 2018.

VAN VLIET, Jasper *et al*, Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe, **Landscape and Urban Planning**, v. 133, p. 24–36, 2015.

WINCK, Bruna Raquel et al. Relationship between land-use types and functional diversity of epigeic Collembola in Southern Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 109, p. 49-59, 2017.

WINCK, Bruna Raquel; RIGOTTI, Vitor Mateus; SACCOL DE SÁ, Enilson Luiz, Effects of different grazing intensities on the composition and diversity of Collembola communities in southern Brazilian grassland, **Applied Soil Ecology**, v. 144, p. 98–106, 2019.

WORLDCLIM. Global Climate and Weather Data. Available online: <https://www.worldclim.org/data/index.html#> (Acessado em: 28 de abril de 2022).

ZEPPELINI, D. 2012. Collembola. In: Rafael, J. A. et al. **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Amazonas: Holos. 201-211.

ZEPPELINI, D.; QUEIROZ, G.C.; BELLINI, B.C. Collembola in **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível online em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/379/> (acessado em: 15 de Fevereiro de 2023)

---