

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO APÓS  
APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA  
(*Acacia mearnsii* De Wild.) NO RIO GRANDE DO SUL**

**TESE DE DOUTORADO**

**Edison Rogério Perrando**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO APÓS  
APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA  
(*Acacia mearnsii* De Wild.) NO RIO GRANDE DO SUL**

por

**Edison Rogério Perrando**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em  
Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Florestal**

**Orientador: Prof. Dr. Ervandil Correa Costa**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2008**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO APÓS  
APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA  
(*Acacia mearnsii* De Wild.) NO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por  
**Edison Rogério Perrando**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Ervandil Correa Costa, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Acácio Geraldo de Carvalho, Dr. (UFRRJ)**

**Norivaldo dos Anjos Silva, Dr. (UFV)**

**Angélica Polenz Wielewicki, Dra. (MAPA)**

**Edison Bisognin Cantarelli, Dr. (CESNORS/UFSM)**

Santa Maria, 25 de janeiro de 2008.

A Deus e à *MTA*, pela Presença constante em minha vida...

*In memoriam*, aos meus pais, Acylino e Angelina, e à minha irmã Maria de Lourdes, pelos modestos ensinamentos que até hoje perduram e são nossas maiores virtudes...

Aos meus irmãos Carmem, Eloisa, Enio, Hélio e Marlene, pelo carinho e apoio...

# **DEDICO** #

*Nada nesse mundo construímos sozinhos...*

*...sobretudo a força e perseverança para superar as grandes barreiras.*

A todos os meus amigos...

... em especial aos que considero verdadeiros irmãos...

# **OFEREÇO** #

## AGRADECIMENTOS

Ao final desta jornada, alguns agradecimentos são oportunos e necessários...

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), por tornar oportuna a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo importante respaldo financeiro através da bolsa de estudos.

À Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO – Florestas), por disponibilizar a área na qual o trabalho foi conduzido.

Ao meu orientador Professor Ervandil Correa Costa, pela credibilidade a mim dispensada. Minha admiração por sua luta em busca e defesa daquilo que acredita, e pela sabedoria e humildade na pessoa que é.

À Professora Zaida Inês Antonioli, pela edificante co-orientação neste trabalho. Minha profunda gratidão pelo profissionalismo e companheirismo nesta jornada, fruto de uma verdadeira e respeitosa amizade entre nós.

Ao Professor Dalvan José Reinert, pela co-orientação e pronta disposição em atender-me quando necessário. Meu profundo respeito ao amigo e profissional que é.

Ao Professor Ivanor Müller e ao recente amigo Dilmar Baretta, pelo auxílio na análise dos dados. Foi, certamente, de grande valia.

À Cerlene da Silva Machado, secretária do PPGEF, carinhosamente conhecida por “Tita”. Serei sempre grato pelo apoio, tanto logístico como emocional, e acima de tudo, pela sua amizade.

A toda minha família que, mesmo com o pouco entendimento técnico a respeito do meu trabalho, entendia com o coração minha busca. Agora compartilho o resultado com ela.

Aos amigos e colegas Magda Zanon, Fabiano Fortes, Filipe Munaretto, César Martins, Cláudio Thomas, Vanessa Fiad e Lorenzo Teixeira, pela pronta disposição quando “intimados” a prestar auxílio nos trabalhos de campo. Minha gratidão.

Aos amigos do Laboratório de Física do Solo, Maurício, “Fonti”, Paulo e, em especial, ao Fabiano “Braguinha” pelo auxílio na análise e processamento das amostras de solo. Ainda, ao “Seu Elio”, pela ajuda prestada nos trabalhos de viveiro.

À colega e coordenadora do curso de Engenharia Florestal da UNOESC Xanxerê, Graciele Barbieri, pela compreensão e apoio enquanto fui docente em tal Instituição de ensino.

Aos grandes amigos: Vinícius (“Muleque”), pela paciente e grandiosa contribuição na atividade laboratorial; e Vlademir: mais do que estagiário, um grande companheiro na coleta de dados.

Aos Professores Rômulo Trevisan e Eduardo Suzuki: Minha gratidão pelo suporte na interpretação dos dados. Acreditem em minha decisão, irrevogável, de sempre ajudá-los quando necessário. Basta um grito.

Aos proprietários dos veículos “azulão” e “vermelhona” que, indo e vindo, possibilitaram a realização deste trabalho: meus irmãos Carmem e Hélio. Sem o apoio de vocês “quatro” o trabalho teria sido em dobro. Tenham certeza disto.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, e àquelas pessoas que, sem maldade, tenha esquecido de aqui mencionar.

Por fim, meu profundo agradecimento ao que me é mais valoroso neste cenário todo: **Deus**; minha **família**; e meus, hoje e sempre, **irmãos**: “Beto”, “Fabi”, “Fon”, “Professor”, “Museusinho”, “Fortes”, “Vlad”, “Chefa” e Denardi. *Vocês valem muito pra mim...*

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.) NO RIO GRANDE DO SUL**

Autor: Edison Rogério Perrando  
Orientador: Dr. Ervandil Correa Costa  
Data e Local de Defesa: Santa Maria, 25 de janeiro de 2008.

O estudo de indicadores biológicos da qualidade do solo em áreas consideradas como unidades de produção florestal é importante para o entendimento dos processos ecológicos que ocorrem nesses sistemas. Monitorar a fauna do solo em ambientes modificados pelo homem, sobretudo quando as práticas de manejo envolvem produtos químicos no ambiente, é um instrumento que permite avaliar não só a qualidade do solo, como também o próprio funcionamento de um sistema de produção, já que a fauna do solo atua na decomposição e ciclagem de nutrientes e, também, nos processos e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de herbicidas em uma área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Para tal, o trabalho foi dividido em três capítulos. No primeiro capítulo, o objetivo foi avaliar o comportamento da meso e macrofauna epiedáfica sob a influência de diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas sobre o solo, por meio da análise de componentes principais (ACP). O estudo foi desenvolvido na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro-Unidade Florestas), no município de Santa Maria/RS. Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento, totalizando 64 unidades experimentais, nas quais foram instalados dois pontos de coleta por unidade através do método PROVID de captura da meso e macrofauna epiedáfica. Os herbicidas utilizados foram Glyphosate ( $4,0 \text{ l ha}^{-1}$ ), Imazapyr ( $3,0 \text{ l ha}^{-1}$ ), Oxyfluorfen ( $4,0 \text{ l ha}^{-1}$ ) e Pendimethalin ( $3,0 \text{ l ha}^{-1}$ ), além de roçada manual e testemunha sem herbicida. As coletas foram realizadas nas quatro estações do ano (inverno, primavera, verão e outono). Dos índices faunísticos calculados, a riqueza média de grupos taxonômicos variou entre 5,2 no inverno e 9,3 no verão. O índice de diversidade de Shannon ( $H$ ) foi semelhante entre todos os tipos e intensidades de aplicação dos herbicidas testados. Este índice ( $H$ ) diferenciou-se somente entre as estações do ano, variando entre 0,58 (primavera) e 1,21 (verão). A ACP entre as variáveis resposta e as variáveis explicativas não separou claramente a formação de componentes (grupos taxonômicos) influenciados significativamente pelo tipo e intensidade de aplicação dos herbicidas. Contudo, na ACP com variáveis suplementares explicativas para os quatro grupos taxonômicos mais representativos (Araneae, Orthoptera, Collembola e Hymenoptera), observou-se que a densidade de

organismos no grupo constituído por colêmbolos é fortemente associada com à precipitação e na época da primavera, enquanto que formigas, ortópteros e aranhas têm sua densidade melhor explicada pela variável temperatura. Os diferentes herbicidas, bem como a intensidade de aplicação destes sobre o solo não exerceram efeitos negativos sobre os parâmetros biológicos avaliados no estudo, estando a diversidade e a densidade da meso e macrofauna epiedáfica condicionada apenas às variações estacionais ao longo do ano. O estudo abordado no segundo capítulo teve por objetivo avaliar, também, a influência de diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas sobre atributos físicos do solo, como densidade; macro, micro e porosidade total do solo; e diâmetro médio de agregados do solo (DMG). A base experimental de campo neste estudo foi a mesma do estudo desenvolvido no capítulo um. Foram realizadas duas coletas (antes do plantio das mudas e após todas as aplicações dos herbicidas). Duas amostras de solo foram coletadas na linha e duas na entrelinha de plantio das mudas. Os resultados obtidos na segunda coleta mostraram não haver diferença significativa entre os parâmetros avaliados. Para densidade do solo, os maiores valores foram constatados nos tratamentos sem aplicação de herbicidas ( $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$  na condição de roçada manual e  $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$  na testemunha). Para macro, micro e porosidade total do solo os valores foram semelhantes entre si, para todos os tipos de herbicidas testados, assim como para o DMG dos agregados do solo. Não houve influência direta dos herbicidas sobre os atributos físicos do solo, uma vez que a matocompetição existente na área de estudo foi parcialmente controlada, principalmente na entrelinha de plantio das mudas, o que pode ter contribuído para a manutenção da estrutura física do solo neste local. Na linha de plantio, houve uma rápida reacomodação das partículas do solo por ação das raízes das mudas. O terceiro capítulo aborda o estudo que teve por objetivo avaliar a influência da aplicação de herbicidas sobre a associação simbiótica entre bactérias do gênero *Rhizobium* e o sistema radicular de mudas de acácia-negra, cultivadas em vasos plásticos, sob condições ambientais controladas em casa de vegetação. O estudo foi estabelecido no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições e dez plantas por tratamento, que estiveram constituídos pelos mesmos herbicidas e dosagens mencionadas no capítulo um, além de um tratamento com ausência de herbicida (testemunha). Os resultados neste estudo mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para a variável biomassa seca de nódulos rizóbicos no sistema radicular de mudas de acácia-negra. Todos os herbicidas aplicados ao substrato dos vasos induziram à formação de nódulos rizóbicos, com destaque para o herbicida Oxyfluorfen ( $0,532 \text{ g planta}^{-1}$ ), que apresentou um ganho em biomassa de nódulos de 128,3% com relação à testemunha ( $0,233 \text{ g planta}^{-1}$ ). Exceto para Glyphosate, as correlações entre a biomassa de nódulos e as variáveis: altura, biomassa da parte aérea e biomassa radicular, foram todas positivas e significativas. Desse modo, a aplicação de herbicidas no microambiente avaliado neste estudo não exerceu influência negativa sobre os componentes físicos e biológicos (campo), assim como sobre o componente microbiológico avaliado (casa de vegetação).

Palavras-chave: *Acacia mearnsii*, herbicida, biologia do solo, física do solo, *Rhizobium*, análise multivariada.

## ABSTRACT

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.) NO RIO GRANDE DO SUL**

### **SOIL PHYSICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION AFTER HERBICIDES APPLICATION IN BLACK WATTLE (*Acacia mearnsii* De Wild.) STANDS IN RIO GRANDE DO SUL**

Author: Edison Rogério Perrando

Adviser: Dr. Ervandil Correa Costa

Date and Place of Defense: Santa Maria, January 25<sup>th</sup>, 2008.

The study of soil quality biological indicators in areas classified as forest production units is important to understand the ecological processes that occur in these systems. Monitoring the soil fauna in modified environments, when management practices involve chemical products in the environment, is an instrument that allows to evaluate not only the soil quality but also the proper functioning in a production system, since the soil fauna acts in decomposition and nutrient cycling, as well as in soil physical, chemical and biological properties. The objective of this study was to evaluate the herbicide application in a black wattle area (*Acacia mearnsii* De Wild.). Thus, the study was divided in three chapters. The first chapter aimed to evaluate the meso and macrofauna under different kinds and intensities of herbicides on the ground using the principal component analysis (PCA). The study was developed at Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro-Unidade Florestas) in Santa Maria/RS. The treatments were allocated as Randomized Blocks Design, with four repetitions per treatment, totaling 64 experimental units, where two sampling plots were installed per unit using the meso and macrofauna capture PROVID method. The used herbicides were Glyphosate (4.0 l ha<sup>-1</sup>), Imazapyr (3.0 l ha<sup>-1</sup>), Oxyfluorfen (4.0 l ha<sup>-1</sup>) and Pendimethalin (3.0 l ha<sup>-1</sup>) besides hand cleaning and control without herbicide. The collects were done in the four seasons of the year (winter, spring, summer and autumn). From the calculated faunistic indexes, the taxonomic group average richness varied from 5.2 in the winter to 9.3 in the summer. The Shannon (H) diversity index was similar among all kinds and intensities of applied herbicides. This index (H) was different only between the seasons, varying from 0.58 in the spring to 1.21 in the summer. The PCA between the response and predictor variables clearly separated the component formation (taxonomic groups), significantly influenced by the kind of herbicides

and application intensity. However, in PCA with additional predictor variable for the four most representative taxonomic groups (Araneae, Orthoptera, Collembola e Hymenoptera), it was observed that organism density in the group constituted by Collembola is strongly associated with the precipitation in the spring, whereas ants, Orthoptera, and spiders have their density better explained by the variable temperature. Different herbicides, as well as the intensity of the application on the ground caused no negative effects upon the biological parameters evaluated in the study, being the diversity and the density of meso and macrofauna conditioned only to the seasonal variations along the year. The study approached in the second chapter aimed to evaluate the influence of different kinds and intensities of herbicide application upon the soil physical properties, like density, macro, micro and total porosity, and aggregates average diameter (AAG). The experimental plot was the same described in chapter one. Two collections were done (before planting and after all herbicides application). Two soil samplings were collected in planting and interplanting seedling rows. The obtained results in the second collection showed that there is no significant difference between the evaluated parameters. For soil density, the highest values were found in treatments without herbicide ( $1.38 \text{ Mg m}^{-3}$  in hand cleaning and  $1.32 \text{ Mg m}^{-3}$  in control). For macro, micro and total porosity the values were similar among them, for all kinds of tested herbicides, as well as for AAG. There was no herbicide direct influence upon the soil physical properties, since the weed competition was partially controlled, mainly in inter row seedlings planting, that might have contributed to maintain the soil physical structure in this area. In planting row, there was a fast soil particle reaccommodation because of the seedling roots. The third chapter aimed to evaluate the influence of herbicide application upon the symbiotic association between *Rhizobium* and the root systems from black-wattle seedlings, cultivated in plastic vessels under controlled environmental conditions in greenhouse. The study was established in Randomized Blocks Design, with four repetitions and ten plants per treatment, which were constituted by the same herbicides and doses mentioned in chapter one, besides a treatment without herbicide (control). The results in this study showed significant differences between the treatments and the variable dried biomass from rhizobial nodules in the black-wattle seedlings root system. All the herbicides used in vessels substrates induced the nodules formation, highlighting the herbicide Oxifluorfen ( $0.532 \text{ g plant}^{-1}$ ), that showed a nodules biomass gain of 128.3% related to the control ( $0.233 \text{ g plant}^{-1}$ ). Except for Glyphosate, the correlations between nodules biomass and the variables height, above ground biomass, and root biomass were all positive and significant. This way, the use of herbicide in the evaluated microenvironment caused no negative influence upon the physical and biological components (field), as well as on the microbiological component evaluated (greenhouse).

Key-words: *Acacia mearnsii* De Wild., herbicide, soil biology, soil physics, *Rhizobium*, multivariate analysis.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 – Localização da área de estudo (A), com detalhe para a declividade e cobertura vegetal nativa antes da instalação do experimento (B) e do arranjo experimental (C), na Unidade de Pesquisa Florestal da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), onde: G=tratamento com herbicida Glyphosate; I=tratamento com herbicida Imazapyr; O=tratamento com herbicida Oxyfluorfen; P=tratamento com herbicida Pendimethalin; R=tratamento manual (roçada); T=testemunha absoluta; sendo A-2=duas aplicações ao ano; A-3=três aplicações ao ano e A-4=quatro aplicações ao ano. Santa Maria (RS)..... 40
- Figura 3.2 – Armadilha do tipo PROVID utilizada nas coletas da meso e macrofauna epiedáfica na área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) submetida à aplicação dos herbicidas. FEPAGRO. Santa Maria (RS). Fonte: Antonioli et al. (2006)..... 44
- Figura 3.3 – Caracterização de valores médios quanto à descrição dos organismos capturados pelo método PROVID, onde: hym=Hymenoptera; ort=Orthoptera; dip=Díptera; cpt=Coleóptera; hem=Hemíptera; ara=Araneae; lep=Lepidóptera; clb=Collembola; opi=Opiliones; chi= Chilopoda e lar=Larvas, em coletas realizadas no inverno/2006 (A) e primavera/2006 (B). Santa Maria (RS)..... 49
- Figura 3.3 – *Continuação*...Caracterização de valores médios quanto à descrição dos organismos capturados pelo método PROVID, onde: hym=Hymenoptera; ort=Orthoptera; dip=Díptera; cpt=Coleóptera; hem=Hemíptera; ara=Araneae; lep=Lepidóptera; clb=Collembola; opi=Opiliones; chi= Chilopoda; bla=Blattaria; lar=Larvas; mol=Mollusca e out=outros, em coletas realizadas no verão/2007 (C) e outono/2007 (D). Santa Maria (RS)..... 50
- Figura 3.4 – Média mensal de temperaturas (mínima, média e máxima, em °C) e total mensal de precipitação (mm), registrados pela Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS) (Dezembro/2005 a Novembro/2007)..... 51
- Figura 3.5 – INVERNO: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (A); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (B)..... 59
- Figura 3.6 – PRIMAVERA: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (A); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (B)..... 61

- Figura 3.7 – VERÃO: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (**A**); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (**B**)..... 62
- Figura 3.8 – OUTONO: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (**A**); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (**B**)..... 63
- Figura 3.9 – Caracterização de valores médios quanto à descrição dos quatro grupos taxonômicos mais representativos capturados pelo método PROVID, onde: *hym*=Hymenoptera; *ort*=Orthoptera; *ara*=Araneae; e *clb*=Collembola; nas unidades experimentais submetidas a quatro aplicações de herbicidas, em coletas compreendidas entre o inverno e primavera/2006; e verão e outono/2007. Santa Maria (RS)..... 64
- Figura 3.10 – Relação entre as componentes principais 1 e 2 (da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica dos quatro grupos taxonômicos mais representativos (**A**); com quatro aplicações de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin; e T=Testemunha), nas quatro estações do ano (inv=Inverno; pri=Primavera; ver=Verão e out=Outono), representados pela letra (**B**)..... 68
- Figura 5.1 – Padrão de plântula (**A**) utilizada para avaliação da nodulação rizóbica em mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), em condições de casa de vegetação (**B**)..... 84
- Figura 5.2 – Diagnose visual do efeito residual de herbicidas no substrato de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) através de gramínea (*Oryza* sp.), com destaque para a germinação das sementes sem fitotoxicidade (**A**) e no período de avaliação final do estudo (**B**). Outubro/2007..... 85
- Figura 5.3 – Influência do herbicida no incremento em biomassa de nódulos no sistema radicular de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Novembro/2007..... 87
- Figura 5.4 – Aspecto geral da formação de nódulos de rizóbio no sistema radicular de mudas de Acácia-negra, mediante aplicação de diferentes herbicidas, em condições de casa de vegetação..... 89

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1 – Caracterização técnica dos produtos fitossanitários (herbicidas) utilizados no estudo, conforme dados expedidos pelos respectivos fabricantes..... 42
- Tabela 3.2 - Descrição dos tratamentos, número de aplicações e tipo de herbicidas utilizados pelo período de um ano após a instalação do experimento, em quatro unidades amostrais, para cada tratamento. Santa Maria (RS)..... 43
- Tabela 3.3 - Índice de Diversidade de Shannon (*H*) e riqueza de grupos taxonômicos encontrados em área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetida a diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas ao longo de um ano, nas quatro estações do ano (período de julho de 2006 a maio de 2007). Santa Maria (RS)..... 46
- Tabela 3.4 – Resultados da matriz de correlação entre as variáveis analisadas na época de inverno, primavera, verão e outono (Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) – Média de oito pontos amostrais)..... 52
- Tabela 3.5 – Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas na época do inverno, primavera, verão e outono..... 54
- Tabela 3.6 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores na análise da fauna epiedáfica coletada nas épocas de inverno, primavera, verão e outono. 55
- Tabela 3.7 – Proporção de variação de cada tratamento utilizado (herbicida x aplicação) na composição dos autovetores em cada componente principal no estudo da fauna epiedáfica, na coleta de inverno, primavera, verão e outono..... 56
- Tabela 3.7 – *Continuação...* Proporção de variação de cada tratamento utilizado (herbicida x aplicação) na composição dos autovetores em cada componente principal no estudo da fauna epiedáfica, na coleta de inverno, primavera, verão e outono. 57
- Tabela 3.8 – Matriz de correlação outono (Correlação de Pearson;  $p < 0,05$  – Média de oito pontos amostrais) entre as variáveis analisadas (quatro grupos mais representativos) e variáveis ambientais (explicativas), submetidas a quatro aplicações de herbicidas, na época de inverno e primavera (2006) e verão e outono (2007)..... 65
- Tabela 3.9 – Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas (**A**); e proporção de variação de cada tratamento utilizado (herbicida e quatro aplicações) na composição dos autovetores em cada componente principal (**B**), na época do inverno, primavera, verão e outono, e para os quatro grupos mais representativos, submetidos a quatro aplicações de herbicidas..... 66
- Tabela 3.10 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores na análise da meso e macrofauna epiedáfica (quatro grupos mais representativos), com quatro aplicações de herbicidas, coletada nas épocas de inverno e primavera de 2006; e verão e outono de 2007..... 67

- Tabela 4.1 – Valores médios para densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) em área de plantio de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetida a quatro aplicações dos tratamentos, na linha e na entrelinha de plantio (primeira coleta) e linha de plantio das mudas (segunda coleta) (Dezembro/2005 a Novembro/2007). Santa Maria (RS)..... 77
- Tabela 4.2 – Valores médios, em  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ , para porosidade total, macro e microporosidade do solo em área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetidas a diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas. (Dezembro/2005 a Novembro/2007). Santa Maria (RS)..... 78
- Tabela 4.3 – Valores médios para o diâmetro médio geométrico (DMG, em mm) de agregados do solo em área de implantação de floresta de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetidas a diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas. Santa Maria (RS)..... 79
- Tabela 5.1 – Análise de variância para biomassa de nódulos em mudas de *Acacia mearnsii* De Wild., em função de diferentes herbicidas aplicados ao substrato. Novembro/2007..... 86
- Tabela 5.2 – Comparação de médias pelo teste de diferença mínima significativa (Tukey 5%) para a variável biomassa de nódulo no sistema radicular de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild), em função tipo de herbicida, em condições de casa de vegetação. Santa Maria (RS)..... 86
- Tabela 5.3 – Análise de correlação (Pearson) para biomassa de nódulos de *Rhizobium* (g por planta) em função dos tratamentos (herbicidas), para as variáveis altura (H), biomassa da parte aérea (BPA) e biomassa radicular (BRA) em mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), em condições de casa de vegetação..... 88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviatura/ Sigla	Descrição	Unidade
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas	
ACP	Análise de Componentes Principais	
BPA	Biomassa da parte aérea da planta	g
BRA	Biomassa de raízes da planta	g
CV	Coefficiente de variação	%
DMG	Diâmetro Médio Geométrico	mm
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio	
H	Altura da planta	cm
<i>H</i>	Índice de Diversidade de Shannon	
i.a.	Ingrediente Ativo	g L <sup>-1</sup> / g ha <sup>-1</sup>
PP	Precipitação média mensal	mm
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>	
SBS	Sociedade Brasileira de Silvicultura	
T°C	Temperatura média mensal	° C
G	Herbicida Glyphosate	4,0 L ha <sup>-1</sup>
I	Herbicida Imazapyr	3,0 L ha <sup>-1</sup>
O	Herbicida Oxyfluorfen	4,0 L ha <sup>-1</sup>
P	Herbicida Pendimethalin	3,0 L ha <sup>-1</sup>
R	Roçada manual	
T	Testemunha	
A2	Duas aplicações de herbicida ao ano	
A3	Três aplicações de herbicida ao ano	
A4	Quatro aplicações de herbicida ao ano	
inv	Amostragem no inverno	
pri	Amostragem na primavera	
ver	Amostragem no verão	
out	Amostragem no outono	
<i>ara</i>	Grupo taxonômico Araneae	
<i>bla</i>	Grupo taxonômico Blattaria	
<i>clb</i>	Grupo taxonômico Collembola	
<i>cpt</i>	Grupo taxonômico Coleoptera	
<i>dip</i>	Grupo taxonômico Diptera	
<i>hem</i>	Grupo taxonômico Hemiptera	
<i>hym</i>	Grupo taxonômico Hymenoptera	
<i>lar</i>	Grupo “Larvas”	
<i>mol</i>	Grupo taxonômico Mollusca	
<i>opi</i>	Grupo taxonômico Opiliones	
<i>ort</i>	Grupo taxonômico Orthoptera	
<i>out</i>	Grupo “Outros”	

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1	A espécie <i>Acacia mearnsii</i> De Wild. ....	21
2.2	Fauna do solo .....	22
2.3	Fatores que afetam os organismos de solo e suas conseqüências .....	25
2.4	Fixação biológica de nitrogênio (FBN).....	26
2.5	Qualidade do solo .....	29
2.6	Uso de agrotóxicos no ecossistema do solo .....	30
2.7	Referências Bibliográficas .....	32
<b>3</b>	<b>INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS SOBRE A MESO E MACROFAUNA EDÁFICA EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA (<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.)</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Material e Métodos</b> .....	<b>39</b>
3.2.1	Caracterização da área experimental .....	39
3.2.2	Tratamentos e delineamento experimental .....	41
3.2.3	Instalação e manutenção da área experimental.....	43
3.2.4	Caracterização da meso e macrofauna epiedáfica .....	44
3.2.5	Análise estatística .....	45
<b>3.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>45</b>
3.3.1	Índice de Diversidade de Shannon ( <i>H</i> ) e riqueza de grupos taxonômicos .....	45
3.3.2	Análise de Componentes Principais (ACP) nas quatro estações do ano .....	48
3.3.3	Grupos taxonômicos mais representativos – ACP com variáveis suplementares .....	64
<b>3.4</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>70</b>
<b>3.5</b>	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>70</b>
<b>4</b>	<b>AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO SOB A INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE ACÁCIA- NEGRA (<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.)</b> .....	<b>73</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>73</b>
<b>4.2</b>	<b>Material e Métodos</b> .....	<b>74</b>
4.2.1	Densidade, porosidade e estabilidade de agregados .....	74
4.2.2	Análise estatística .....	75
<b>4.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>76</b>
4.3.1	Densidade do solo .....	76
4.3.2	Macroporosidade .....	77
4.3.3	Microporosidade .....	78
4.3.4	Porosidade total .....	79

4.3.5	Diâmetro médio geométrico (DMG) .....	79
<b>4.4</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>80</b>
<b>4.5</b>	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>80</b>
<b>5</b>	<b>INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS SOBRE A NODULAÇÃO RIZÓBICA EM MUDAS DE ACÁCIA-NEGRA (<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.)</b> .....	<b>82</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>82</b>
<b>5.2</b>	<b>Material e Métodos</b> .....	<b>83</b>
5.2.1	Condições experimentais do estudo .....	83
5.2.2	Análise estatística .....	84
<b>5.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>85</b>
<b>5.4</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>90</b>
<b>5.5</b>	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	<b>92</b>
	<b>CONSIDERAÇÃO FINAL</b> .....	<b>93</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas se destaca no cenário socioeconômico brasileiro, participando com 4,0% do produto interno bruto (PIB) e com a geração, direta e indireta, de 2,5 milhões de empregos. Contudo, sua contribuição no mercado mundial de produtos florestais é ainda inexpressiva, exceto no campo de exportação de celulose de eucalipto, que detém 47,0% do mercado mundial (SBS, 2001).

A produtividade dos plantios florestais no Brasil está aquém de seu potencial, havendo amplas possibilidades de elevá-la, adotando-se manejo florestal adequado. O grande desafio consiste em identificar o equilíbrio entre as práticas silviculturais que mantenham ou elevem a produtividade em longo prazo, reduzindo os impactos ambientais (Toledo, 2002).

Atualmente, a área total de plantios florestais no Brasil é de aproximadamente 5,7 milhões de hectares, representadas, basicamente, por espécies do gênero *Eucalyptus* (63,0%) e *Pinus* (31,0%). Além do eucalipto e do pinus, destacam-se como espécies de importância econômica a acácia (*Acacia* spp.), a teca (*Tectona grandis*), a seringueira (*Hevea brasiliensis*) e o pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia*), todavia, esta última, em menor proporção (ABRAF, 2007).

O cultivo da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) passou a ocupar, nos últimos anos, um importante papel no cenário silvicultural brasileiro sob influência do mercado mundial de tanino e pela perspectiva de elevação no consumo de madeira para exportação. Composto um maciço florestal de 152,5 mil hectares concentrado no estado do Rio Grande do Sul, que representa 3,0% dos plantios florestais no país, o cultivo desta espécie tem assegurado, também, uma fonte de renda adicional para aproximadamente 10 mil famílias de pequenos produtores no estado (ABRAF, 2007).

Salienta-se que, para garantir a produtividade e sustentabilidade dos atuais modelos produtivos utilizados na formação de florestas artificiais, existe a necessidade de controle de certos fatores limitantes, dentre os quais se destacam aqueles decorrentes da ocorrência de doenças, ataque de pragas e de plantas indesejáveis nas áreas reflorestadas, fundamentalmente na fase de implantação dos povoamentos florestais. O monitoramento e o controle desses fatores, tanto em áreas agrícolas como florestais, têm sido intensivamente trabalhado mediante estratégias que envolvem o uso de produtos fitossanitários, visando minimizar os danos causados à cultura e, automaticamente, elevar os ganhos de produtividade.

Defensivos agrícolas, agrotóxicos ou pesticidas são substâncias químicas, naturais ou sintéticas, destinadas à prevenção ou erradicação de pragas e doenças que, de algum modo, lesam ou transmitem enfermidades às plantas cultivadas em sistemas agrícolas e florestais. Essa definição tem como referência insetos, fungos, bactérias, plantas infestantes ou qualquer outra forma de vida que comprometa a produtividade do sistema de cultivo (Zambrone, 1996).

Embora conhecidos os benefícios imediatos que advém da utilização de tratamentos agroquímicos sobre a produtividade da cultura, há ainda uma grande preocupação acerca dos efeitos que estes produtos podem ocasionar ao meio ambiente, principalmente sobre o ecossistema do solo. Como prática silvicultural, o método químico de controle da matocompetição, antes ou depois de sua emergência, vem sendo cada vez mais utilizado e difundido, em razão de seu resultado de controle ser mais rápido, eficiente e mais prolongado. Apenas no ano de 2000, mais de 170 mil toneladas de produtos formulados (comerciais) foram aplicados sobre os solos brasileiros (SINDAG, 2003). Expresso em quantidade de ingrediente ativo, esse volume representa uma média de 80 mil toneladas de substâncias químicas aplicadas sobre a superfície do solo e plantas, as quais incluem, especificamente, herbicidas, inseticidas e formicidas.

A fauna edáfica, representada por micro e macroartrópodos é, comprovadamente, um importante componente no ecossistema do solo (Knoepp et al., 2000), influenciando direta e indiretamente vários processos pedológicos, dentre eles a decomposição da matéria orgânica, regulação da atividade microbiana, ciclagem de nutrientes e a dinâmica estrutural do solo (Cortet et al., 1999). Entretanto, as diferentes estratégias de uso do solo, incluindo o manejo químico do mesmo, podem ocasionar efeitos adversos sobre a diversidade de organismos nele presente, bem como em sua estrutura física e química.

Os efeitos de produtos fitossanitários sobre componentes físicos e biológicos do solo, embora complexos, têm sido freqüentemente avaliados. Entretanto, a maioria dos estudos são conduzidos em condições de laboratório, utilizando-se de metodologias baseadas em bioensaios (Cortet et al., 2002). Embora facilmente demonstráveis em condições controladas, em condições de campo os efeitos sobre a fauna edáfica e constituição física do solo podem ser variáveis, e por isto devem ser avaliados e interpretados com muito critério e cautela, através de indicadores apropriados e de maior proximidade das condições de campo (Moreira & Siqueira, 2002).

Na atualidade, as diversas práticas de manejo silvicultural adotadas pelas empresas do setor florestal podem influenciar diferenciadamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, nesse contexto, situa-se o uso freqüente e prolongado de herbicidas para

o controle de plantas infestantes em áreas de plantios florestais equiâneos. O emprego de vários métodos de controle da matocompetição, bem como a associação deles, tem sido amplamente utilizado, embora tenha sempre suscitado dúvidas sobre seus efeitos na produtividade e sustentabilidade do sistema silvicultural, principalmente quando observado em longo prazo.

Os indicadores da qualidade do solo devem ser sensíveis às variações de manejo e clima e possibilitar o monitoramento dessas mudanças ao longo do tempo. Sob o ponto de vista produtivo e conservacionista, o manejo do solo é sustentável quando sua qualidade é mantida ou melhorada.

O cultivo da acácia-negra no sul do Brasil, embora reconhecido como recurso propulsor do setor florestal, tanto econômico como de desenvolvimento da pequena propriedade rural, encontra-se num estágio relativamente recente quanto às pesquisas na área de silvicultura, principalmente com relação às linhas de investigação na área de proteção florestal. Assim, o presente estudo teve por objetivo a caracterização dos efeitos da aplicação de herbicidas sobre parâmetros biológicos e físicos do solo, em área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Para tal, as seguintes pressuposições foram avaliadas:

#### *Hipótese I*

Diferentes ingredientes ativos e o número de aplicações de herbicidas sobre o solo, determinadas pela variabilidade estacional ao longo do ano, afetam qualitativa e quantitativamente a meso e macrofauna epiedáfica;

#### *Hipótese II*

A combinação de diferentes ingredientes ativos e sucessivas aplicações de herbicidas repercutem, direta ou indiretamente, em mudanças nas propriedades físicas do solo, como densidade, porosidade e estabilidade dos agregados; e

#### *Hipótese III*

Diferentes ingredientes ativos de herbicidas sobre o solo promovem um desequilíbrio quanto à formação de nódulos radiculares originados da simbiose mutualística entre bactérias do gênero *Rhizobium* e raízes de mudas de acácia-negra.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A espécie *Acacia mearnsii* De Wild.

A família *Fabaceae* possui cerca de 18.000 espécies incluídas nas subfamílias *Mimosoideae*, *Caesalpinioideae*, e *Faboideae*. *A. mearnsii* De Wild. pertence à família *Fabaceae* e à subfamília *Mimosoideae* (Lamprecht, 1990), distribuindo-se naturalmente no sudeste da Austrália Continental (Sherry, 1971).

*A. mearnsii* é uma árvore de porte médio, copa arredondada e casca castanho-escura dividida em pequenas placas, característica esta que a torna conhecida popularmente como Acácia-negra no Brasil e Acácia-centenário na Argentina (Marchiori, 2007), podendo atingir até 20 metros (Carvalho, 1994). De coloração amarelo-clara, perfumadas e dispostas em capítulos globosos de cinco a sete milímetros, as flores reúnem-se em panículas terminais. As folhas, alternas e bipinadas, compõem-se de 13 a 17 pares de pinas subopostas, com folíolos variando de 30 ou mais pares por pina. Tanto o pecíolo quanto o ráquis possuem inúmeras glândulas pequenas e ovaladas. Os legumes são glabros, torulosos e de cor escura, apresentando deiscência por duas valvas e sementes que requerem quebra de dormência.

No Brasil, as primeiras mudas de acácia-negra originaram-se de sementes trazidas da África do Sul, as quais estabeleceram o primeiro plantio no ano de 1918, na região do vale do Rio Taquari/RS (Dedecek et al., 2000).

Além do aproveitamento da madeira como fonte energética e na fabricação de celulose e aglomerados, o tanino extraído de sua casca, que apresenta níveis de conteúdos tanantes superiores a 30% (Sherry, 1971), é utilizado na indústria coureira, no tratamento de efluentes, na fabricação de colas e tintas e na clarificação de cervejas e vinhos (Dedecek et al., 2000). A madeira também é utilizada na produção de escoras para minas na África do Sul, em telhados no Zimbábue e no Kênia e em postes ou mourões na Indonésia. Sua importância é também de caráter conservacionista, atuando como recuperadora de solos através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, microorganismos fixadores e repositores do nitrogênio atmosférico ao solo.

Originalmente, o sucesso no plantio desta espécie estimulou e implementou novos planos de cultivo em áreas adjacentes à região de introdução, de modo a suprir a grande demanda gerada pela indústria do couro. Atualmente, o cultivo de acácia-negra compreende aproximadamente 44,0% dos plantios florestais com outras espécies no Brasil que não o pinus

e o eucalipto, tornando-se uma das principais espécies florestais plantadas no extremo sul do Brasil, tanto pelo setor privado como pela agricultura familiar de subsistência.

## **2.2 Fauna do solo**

A atividade antrópica inadequada tem gerado a degradação de imensas áreas de solo, que passam a ser improdutivas do ponto de vista agrícola. Avaliar se um sistema de produção é sustentável ou não, ou qual o grau de sustentabilidade deste sistema é algo relativamente complexo, já que envolve uma grande variedade de processos, por si só de considerável complexidade. Duas abordagens com relação a essa avaliação têm sido propostas: a primeira consiste em se estabelecer um índice geral de qualidade do solo, incluindo-se fatores relativos à produtividade, características físicas, químicas e biológicas do solo em questão (Doran & Parkin, 1994). A segunda abordagem consiste em estudar um processo que seja relevante no sistema e considerá-lo como indicador do comportamento conjunto, em relação a impactos específicos. Nesse contexto, a fauna de invertebrados do solo pode contribuir para a avaliação do status da sustentabilidade de um determinado sistema, seja ele de produção ou de recuperação de uma área degradada (Linden et al., 1994).

Definir e quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil, pois a mesma depende de suas características intrínsecas (propriedades físicas, químicas e biológicas), de suas interações com o ecossistema, e do uso e manejo que recebe (Doran & Parkin, 1994; Rheinheimer, 2001).

Conhecer as relações entre um ambiente favorável ao desenvolvimento da fauna do solo e a complexidade dos organismos associados à cultura é de fundamental importância para estudos bioecológicos. O entendimento dessa relação, principalmente com respeito a artropodofauna do solo, é também relevante nas diretrizes de programas de manejo integrado de pragas (Silva & Carvalho, 2000).

Loranger et al. (1998) mencionou que, como indicadores biológicos da qualidade do solo, a diversidade e a abundância dos organismos presentes no solo desempenham importante papel no seu complexo funcionamento.

No Brasil, poucos estudos biológicos relacionados com organismos que habitam o sistema do solo em ecossistemas florestais têm sido realizados. Entretanto, numa observação visual desse sistema, pode-se detectar inúmeros organismos movimentando-se, alimentando-se, de um modo geral, interferindo e alterando as condições do solo. A partir dessas inferências e de alguns estudos realizados, tem-se que a fauna edáfica pode exercer

importantes funções no solo (Assad, 1997). Usando a macrofauna como exemplo, têm-se ações como a movimentação de materiais sobre e dentro do solo; o enterrio ativo de restos vegetais depositados na superfície do solo; a movimentação de quantidades variáveis de partículas de diferentes frações granulométricas; cavidades, galerias e ninhos; a ingestão, digestão e excreção de restos orgânicos e de partículas minerais; a participação nos ciclos biogeoquímicos e na disponibilização de nutrientes e contribuição para a estruturação do solo, entre inúmeras outras ações (Assad, 1997).

Inúmeros são os grupos taxonômicos que compõem a, usualmente denominada, fauna edáfica de invertebrados, e algumas classificações, como a apoiada no tamanho e na mobilidade dos organismos, são bastante difundidas, atualmente, entre os pedobiólogos tropicais. Esta divisão classifica os organismos de solo em: microfauna (<0,2mm), mesofauna (0,2 a 2,0mm) e macrofauna (>2,0mm). A primeira divisão engloba animais ligeiramente móveis, como os nematóides. A mesofauna é constituída por espécies que se movimentam nos poros do solo, nas fissuras e na interface entre a liteira e o solo, como os ácaros e colêmbolos e, como macrofauna, são classificados os animais de grande mobilidade e características de construir ninhos, cavidades, galerias e o importante papel de transportar materiais do solo, como os anelídeos, térmitas e formigas (Poggiani et al., 1996; Assad, 1997).

Conforme o tipo, hábito e tamanho do corpo, existe um método mais adequado para estimar o tamanho das populações desses animais no solo. Em solos florestais, a mesofauna e a macrofauna, pela sua importância, são mais frequentemente estudados (Ducatti, 2002). Normalmente visíveis a olho nu, os organismos da macrofauna podem ser estimados por catação manual nas amostras coletadas no campo, enquanto que organismos da mesofauna, devido ao seu menor tamanho, são estimados por meio de extratores do tipo Berleuse-Tullgreen (Flechtmann et al., 1975; Poggiani et al., 1996).

As galerias construídas e a excreção de “pellets” fecais por organismos do solo modificam o espaço poroso, desempenhando importante papel na aeração e na permeabilidade do solo, pois facilitam a circulação do ar e a infiltração de água no solo. Os bioporos também facilitam a penetração de raízes, interferindo na sua resistência mecânica e no padrão de penetração (Fisher & Binkley, 2000).

O uso de diferentes coberturas vegetais e de práticas culturais podem atuar diretamente sobre a população da mesofauna do solo. Este efeito é muitas vezes relacionado à permanência de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo. Barros et al. (2001) observaram que a diversidade de macroinvertebrados diminui depois do desmatamento e, que o número variou entre 151 espécies em área com floresta e 48 espécies em área de pastagem. Em

floresta nativa, Badejo & Ola-Adams (2000) constataram que a diversidade e a abundância de alguns organismos de solo, principalmente ácaros, foram consideravelmente superiores às aquelas verificadas em áreas exploradas com mandioca, teca e pinheiro. Em solos amazônicos, Acari, Collembola e Formicidae foram grupos dominantes, com abundâncias relativas de 87%, 29% e 6%, respectivamente, em florestas sem nenhum tipo de intervenção (Antony, 1996b). Solos com pastagem apresentaram menor ocorrência de colêmbolos quando comparados a solos manejados com floresta, em estudos relacionando a intensidade de uso da terra conduzidos por Loranger et al. (1998). Os colêmbolos, segundo Stork & Eggleton (1992), são insetos representantes de um dos grupos que assumem fundamental importância na bioindicação da qualidade do solo. Influenciam a fertilidade do solo através da estimulação da atividade microbiana, da distribuição de esporos de espécies fúngicas e da inibição da ação de fungos e bactérias causadoras de doenças em plantas. A população desse grupo de insetos (colêmbolos) pode ser modificada de forma drástica por práticas culturais do solo como subsolagem, adubação, drenagem, irrigação e pesticidas, que criam um ambiente diferente para os organismos, alterando umidade e aeração do solo (Sautter, 1991). Outro grupo de insetos tido como importante nesse processo são os cupins, pois exercem efeitos sobre o ecossistema do solo provocando modificações físicas nos perfis de solo e em sua textura, mudanças na distribuição da matéria orgânica e construção de galerias subterrâneas (Wood, 1988) e ainda, podem concentrar o carbono e o nitrogênio orgânico do solo em seus ninhos. A construção dessas galerias subterrâneas pelos cupins afetam o regime hídrico do solo, aumentam a porosidade, a aeração e a infiltração de água (Stork & Eggleton, 1992). Áreas de solo pouco cobertas e tratadas com inseticidas no Novo México apresentaram uma significativa redução na taxa de infiltração de água quando comparadas a áreas não tratadas (Elkins et al., 1986), sugerindo que galerias subterrâneas feitas por cupins tenham aumentado a capacidade de retenção e infiltração de água destes solos.

Adicionalmente, em solos no qual o objetivo foi avaliar os benefícios do plantio direto sobre a fauna presente, Silva & Carvalho (2000) constataram uma grande abundância de insetos das Ordens Coleoptera e Orthoptera, atribuindo isso ao fato de que eles passaram pelo menos parte de seu ciclo de vida, no solo. Com relação aos coleópteros, o maior número de indivíduos observados no solo deveu-se, ainda, a fatores como o fato de os adultos locomoverem-se sobre a superfície do solo e o não revolvimento do mesmo (plantio direto), garantindo uma maior sobrevivência das larvas desses insetos.

Solos com vegetação de porte arbóreo tendem a abrigar uma alta e diversificada biomassa de invertebrados quando comparados a solos de áreas com vegetação de menor

porte (Stork & Eggleton, 1992). Esses mesmos autores citaram o estudo desenvolvido por Tousignant et al. (1988) em uma floresta de *Fraxinus americana*, no Canadá, no qual constataram que a densidade de ácaros, colêmbolos e outros artrópodos edáficos reduziu-se drasticamente após o corte das árvores. A abundância de ácaros e insetos decresceu pela metade; a de colêmbolos foi reduzida em 88% e contrastou com o número desses indivíduos nas parcelas onde não houve o corte da floresta.

As coberturas geralmente formam uma camada espessa de folhas mortas, com vários estratos de materiais que retêm a umidade e em decomposição, capazes de abrigar uma fauna mais diversificada, e nas coberturas com leguminosas, pode-se esperar um maior número de grupos, bem como um maior número de espécies, pois a disponibilidade de ambientes favoráveis é maior (Canto, 1996). Segundo Antony (1996a), os processos de mineralização e humificação da matéria orgânica do solo dependem da atividade de uma complexa comunidade de organismos decompositores. Assim, a fauna edáfica contribui de forma relevante para a decomposição de resíduos orgânicos e estruturação do solo. Portanto, a determinação da sua população e diversidade é de fundamental importância para uma avaliação das interações biológicas no sistema solo/planta.

### **2.3 Fatores que afetam os organismos de solo e suas conseqüências**

O manejo ao qual o solo tem sido submetido, que abrange práticas como aração, gradagem, adubação, incorporação de matéria orgânica, irrigação e aplicação de agrotóxicos, pode afetar a comunidade edáfica por meio da intervenção nas características físicas, químicas e biológicas do ecossistema (Cardoso, 1992). Dependendo do tipo de impacto, as reações dos diferentes grupos de organismos podem ser de aumento, limitação ou manutenção do tamanho da população. Quando não houver modificação do tamanho da população, pode haver mudança em sua estrutura, como redução da quantidade de formas juvenis. Assim, a redução da diversidade de espécies e a alteração da estrutura da população de alguns grupos da fauna edáfica podem representar um indicador de degradação do solo e de perda de sua sustentabilidade (Assad, 1997).

De acordo com Teixeira & Schubart (1998), Larink (1997) e Assad (1997), os organismos do solo são sensíveis, em maior ou menor intensidade, aos seguintes fatores:

- (i) compactação e seus efeitos na porosidade, que alteram a capacidade a circulação de água e de ar, e de mobilidade no espaço poroso;

- (ii) profundidade de aração, que causa a inversão de distribuição da fauna, o deslocamento de resíduos de plantas e mudanças nas condições de crescimento microbiano;
- (iii) diminuição da qualidade e da quantidade de material orgânico e redução na quantidade de locais para oviposição, incorrendo na redução da diversidade de espécies e no tamanho da população total de organismos;
- (iv) destruição do revestimento vegetal do terreno, que causa flutuações microclimáticas e expõe os organismos aos excessos de temperatura, a ciclos de umedecimento e secagem (estresse hídrico prolongado e inundação).

Todos esses são fatores a que os habitantes do solo são sensíveis, em maior ou menor intensidade.

Os maiores efeitos do manejo podem ser vistos em regimes agrícolas anuais intensivos, onde a ausência de cobertura vegetal por muitos anos, o baixo retorno de matéria orgânica, o revolvimento periódico do solo pelo uso de máquinas e o repetido uso de agrotóxicos podem desencadear, dentre outros, processos como: progressivo esgotamento do teor da matéria orgânica, deterioração estrutural e compactação, erosão, esgotamento de nutrientes e redução na complexidade e estabilidade da comunidade biológica do solo (Curry & Good, 1992).

No caso de degradação, a paralisação do cultivo promove uma recuperação dos processos de sucessão da fauna edáfica. No entanto, embora esta recuperação seja considerada relativamente rápida, a colonização natural de alguns grupos com baixo poder de dispersão pode ser lenta ou até mesmo ser suprimida em condições de alta acumulação de compostos químicos estranhos ao ecossistema do solo.

## **2.4 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)**

A rizosfera, região imediatamente ao redor do conjunto de raízes, constitui uma zona de alta atividade microbiana, mais alta do que em outra parte do solo. Esta maior atividade é devida às raízes secretarem muitos tipos de açúcares, aminoácidos e vitaminas que favorecem o desenvolvimento microbiano. Segundo Brock et al. (1984), as raízes possuem uma boa umidade e concentração de nutrientes mais altos, o que as torna os sítios principais de ação microbiana. Catelan & Vidor (1990) destacaram a zona rizosférica como uma região que pode apresentar populações microbianas até cem vezes superior em relação à zona não-rizosférica e

este efeito rizosférico varia de acordo com a espécie vegetal, sendo o das leguminosas, mais pronunciado por unidade de raiz. Este fato deve estar relacionado à menor relação C/N desta espécie.

A fixação biológica de nitrogênio é muito utilizada na agricultura e de grande importância econômica na produção de diversos cultivos. Segundo Patrício (1993), a fixação do N<sub>2</sub> atmosférico no solo pode ocorrer através da ação de microorganismos (método biológico); através da síntese de nitrogênio a partir de amônia (método industrial), e através de descargas elétricas que reduzem o N<sub>2</sub> do ar durante as chuvas, trazendo-os para o solo (eletroquímico).

No final do século XIX, a primeira bactéria com capacidade de fixar N<sub>2</sub>, *Bacillus radicola* foi isolada e identificada como hoje gênero *Rhizobium*. Atualmente são conhecidas várias bactérias com esta capacidade. A utilização de microorganismos para fixar nitrogênio pode ser feita através da transferência de genes que comandam a fixação de nitrogênio presentes nas bactérias para as plantas ou de associação mutualística, na qual as bactérias infectam as raízes da leguminosa e fixam nitrogênio molecular, em troca de exsudatos das raízes das plantas (Patrício, 1993).

Uma das vantagens da fixação biológica é o seu baixo custo em comparação ao método industrial. O nitrogênio fixado industrialmente é um dos insumos agrícolas de origem industrial mais dispendioso, já que para cada quilo de nitrogênio produzido com amônia se requer um metro cúbico de gás natural (Patrício, 1993). Além da vantagem econômica, a fixação biológica é importante para a melhoria da qualidade ambiental, já que a diminuição no uso de fertilizantes industriais reduz a quantidade de nitratos carregados por águas superficiais e subterrâneas. Maximizar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio tornou-se, atualmente, parte dos esforços de pesquisas que visam uma agricultura sustentável (Oliveira, 2003).

Muitas bactérias que vivem na região da rizosfera apresentam a capacidade de estimular o desenvolvimento das plantas pela produção de substâncias orgânicas que influenciam os processos fisiológicos delas, por controle biológico de fitopatógenos ou, ainda, por interferência na nutrição das plantas. Segundo Melo (1998), essas bactérias podem ser simbiotes ou saprófitas de vida livre e entre as espécies mais estudadas podem ser citadas as bactérias diazotróficas simbióticas, representadas pelos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* e *Azorhizobium*. Coletivamente denominados de rizóbios, possuem genes *nod* que as possibilitam infectar pelos radiculares de espécies de leguminosas que por sua vez as abrigam em estruturas especiais chamadas nódulos. Esta associação planta - bactéria é tida

como simbiótica, uma vez que o nitrogênio fixado pelos microorganismos é assimilado pelas plantas, enquanto estas fornecem esqueletos de carbono para as bactérias. Essa simbiose pode ser altamente específica, de parte de ambos os simbiontes.

A fixação biológica de nitrogênio talvez seja o processo microbiano relacionado a agricultura mais bem estudado e explorado tecnologicamente. A maximização das contribuições da FBN nos agroecossistemas tornou-se, então, parte dos esforços de pesquisa visando à sustentabilidade das produções agrícolas. Várias espécies novas de *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Sinorhizobium* vêm sendo descritas nos últimos anos, refletindo o número crescente de grupos de pesquisa envolvidos em estudos da diversidade de rizóbios, o avanço tecnológico que permite a detecção de características discriminantes entre as espécies e, mais importante, a grande diversidade destes microorganismos. A maior parte das novas espécies de rizóbios foi isolada de regiões tropicais, realçando a importância dos trópicos com relação à biodiversidade. Considerando os sistemas de agricultura sustentável como pré-requisito para a melhoria de qualidade de vida nos países tropicais e a importância da fixação biológica de nitrogênio para a sustentabilidade dos agroecossistemas, percebe-se a grande relevância e o benefício do entendimento e exploração racional da diversidade de rizóbios.

A exploração efetiva da fixação biológica de nitrogênio em sistemas de agricultura sustentável envolve o uso de leguminosas com diversas finalidades. Sistemas agroflorestais consorciavam leguminosas arbóreas para fornecimento de lenha, forragem e sombreamento com culturas anuais como o milho e sorgo. Leguminosas arbóreas também podem ser usadas como barreira ao vento e como cerca viva com grande eficiência e baixo custo. Em sistemas de rotação de culturas, já amplamente difundidos no Brasil, gramíneas como milho, trigo ou cana-de-açúcar são sucedidas por leguminosas como soja, feijão ou amendoim para fertilizar o solo com o nitrogênio fixado, além de gerar renda com a comercialização dos grãos. Leguminosas também podem ser usadas como adubo verde, onde o nitrogênio fixado e translocado para as folhas retorna ao solo através da decomposição dos restos vegetais.

Além das espécies tradicionais de leguminosas reconhecidamente lucrativas para a agricultura, outras podem vir a ser economicamente atrativas no futuro. Em todas essas situações, para que os sistemas se beneficiem o máximo possível da fixação biológica de nitrogênio, das estirpes de rizóbio com maior eficiência simbiótica, da maior competitividade por sítios de nodulação e maior adaptabilidade às condições ambientais da região de produção, devem estar presentes no solo. Caso contrário, elas devem ser introduzidas na forma de inoculantes.

## 2.5 Qualidade do solo

Tem surgido, nos últimos anos, uma crescente consciência ecológica sobre a qualidade do solo. Qualidade do solo é um conceito emergente que integra avaliações descritivas e analíticas dos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos (Alcântara & Ferreira, 2000). Constitui uma nova abordagem de princípios que envolvem idéias antigas, uma vez que se reconhece hoje que os atributos do solo são tão vulneráveis à degradação quanto são o ar e a água (Steinhardt, 1995). Para Alcântara & Ferreira (2000), a necessidade de obter um sistema de produção sustentável tem acrescentado ao conceito de qualidade do solo, além de critérios de produção, a necessidade de evitar a deterioração dos recursos naturais, dos quais o solo é parte fundamental. Sabe-se que a degradação do solo resulta quase sempre do seu manejo inadequado, o que constitui, portanto, em ameaça para a sustentabilidade e qualidade do meio ambiente.

Os indicadores da qualidade do solo, como densidade do solo, porosidade, estrutura, estabilidade dos agregados, taxa de infiltração, umidade e temperatura, devem ser sensíveis às variações de manejo e clima e possibilitar o monitoramento dessas mudanças ao longo do tempo (Karlen & Stott, 1994 apud Alcântara & Ferreira, 2000).

Conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que controlam a produtividade das culturas é um fator indispensável à instalação de programa de cultivo de precisão (Mercante et al., 2003). Existem várias técnicas disponíveis para se conhecer tal variabilidade, tais como: levantamento de solos, amostragem de solo, utilização de sensores ou, ainda, utilização de modelos de simulação. Um maior conhecimento da variabilidade espacial e temporal da produtividade e das propriedades físicas do solo pode viabilizar um sistema de cultivo moderno, economicamente competitivo e ecologicamente correto (Mercante et al., 2003).

Ao avaliar o crescimento de raízes de leguminosas em solo compactado artificialmente, Alvarenga et al. (1996) concluíram que a porosidade e a aeração do solo desempenham importante papel no crescimento das raízes de plantas (Alvarenga et al., 1996). Outra característica do sistema radicular é que este tende a se concentrar na camada superficial, imediatamente acima da camada supostamente compactada.

A infiltração de água é o processo pelo qual ocorre a entrada de água no solo através de sua superfície. Segundo Pott & Maria (2003), a entrada de água no solo decresce com o tempo, dependendo do umedecimento do perfil, e assume um valor constante denominado velocidade de infiltração básica (VIB). Vários fatores condicionam o movimento da água no

solo, conforme os trabalhos citados por Pott & Maria (2003), a saber: a porosidade (Everts & Kanwar, 1992); a densidade do solo (Sales et al., 1999); a cobertura do solo (Sidiras & Roth, 1987); a textura e o grau de agregação do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990); o selamento superficial (Chaves et al., 1993); a umidade inicial (Araújo Filho & Ribeiro, 1996); a matéria orgânica, a estrutura e a variabilidade espacial do terreno (Klar, 1984).

A descoberta do poder de algumas substâncias organossintéticas para o controle de agentes indesejáveis ou nocivos, como insetos, fungos e plantas daninhas, proporcionou a expansão de áreas cultivadas em todo o mundo.

Quando um herbicida é aplicado no ambiente e atinge o solo, suas moléculas podem seguir diferentes rotas (Lavorenti et al., 2003). Elas podem ser sorvidas aos colóides minerais e orgânicos e, dependendo da energia de ligação, podem tornar-se indisponíveis às plantas (fração resíduo ligado) ou ser novamente desorvidas à solução do solo. As moléculas podem também ser transformadas em metabólitos, normalmente de menor peso molecular, num processo conhecido como degradação. Quando apresentam baixa tendência à formação de resíduo ligado e são pouco degradadas, as moléculas tendem a permanecer na solução do solo, podendo ser absorvidas por raízes de plantas ou lixiviadas para camadas subsuperficiais do perfil. Tudo isso ocorre simultaneamente, em intensidades diferentes, e depende das propriedades físico-químicas do herbicida, do solo e dos fatores climáticos.

Nos trópicos, a degradação do solo é um fenômeno freqüentemente observado e, dependendo da condição em que se encontra, pode ser um processo reversível. O selamento superficial em solos submetidos a inúmeras práticas de manejo, como o uso de herbicidas pré-emergentes, aração, gradagem e erradicação de plantas infestantes, é um desses processos passíveis de reversão (Faria et al., 1998). Dependendo do estágio desse processo, essas práticas podem incorrer na erosão e perdas de solo, água e matéria orgânica. No entanto, pouco se sabe, principalmente em solos de regiões tropicais úmidas, sobre os efeitos advindos do uso de estratégias de controle de plantas daninhas sobre a estrutura do solo, dinâmica da água e outras propriedades físicas, como a reorganização microestrutural desses solos.

## **2.6 Uso de agrotóxicos no ecossistema do solo**

O impacto dos xenobióticos (originado do grego *xeno* = estranho e *biótico* = vida), nos quais incluem-se os agrotóxicos, sobre o meio ambiente, é um tema bastante complexo, polêmico e amplamente debatido por toda a sociedade e comunidade científica. Especialistas procuram entender melhor dois aspectos principais: a biodegradação e redução da

bioacumulação desses produtos, assim como seus impactos na atividade dos organismos essenciais à boa qualidade e funcionamento do ecossistema do solo (Moreira & Siqueira, 2002).

Os agrotóxicos são substâncias químicas destinadas ao controle de pragas e doenças de culturas florestais e agrícolas, que atingem o solo, não só pela incorporação direta de superfície, como também, através do tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como forma de controle de agentes fitopatogênicos presentes no solo, ou eliminação de plantas invasoras, no caso de herbicidas (Mosumeci, 1992).

O controle residual desses compostos agroquímicos no solo está relacionado por processos bióticos e abióticos. Entretanto, a capacidade de adaptação de microorganismos para catabolizar alguns princípios ativos de pesticidas no solo tem, em alguns casos, resultado em relevantes problemas acerca do controle de pragas (Racke, 1990). A duração do efeito de um agrotóxico e sua permanência no meio ambiente estabelecem a persistência desse composto, sendo esta influenciada pela sua estrutura química e pelas condições ambientais (Mosumeci, 1992). Em muitas circunstâncias, porém, o desaparecimento do agrotóxico é atribuído à atividade microbiana do solo.

Os compostos orgânicos sintéticos podem desaparecer do solo por diferentes processos que incluem a volatilização, lixiviação e reações químicas, de natureza hidrolítica ou por fotólise. A persistência dos agrotóxicos aplicados no solo deve durar o tempo suficiente para controlar a praga em questão, caso contrário poderá causar sérios danos ao meio ambiente (Racke, 1990).

Visando à proteção das monoculturas, uma grande variedade de herbicidas vem sendo utilizada. Como os inseticidas, esses agrotóxicos estão distribuídos por diferentes classes químicas e seu comportamento no solo depende de sua estrutura química. Classes importantes de herbicidas são, por exemplo: triazinas, feniluréias, tiocarbamatos, acilanilidas, cloroacetamidas, amitrolas, ácidos fenoxialcalóides, carbamatos, fenóis e dinitroanilinas (Mosumeci, 1992).

As taxas de aplicação de determinados agrotóxicos sobre o solo são variavelmente altas e podem exercer sobre a fauna edáfica local uma exposição em níveis que afetariam seriamente as populações individuais. Embora os pesticidas atualmente empregados sejam geralmente muito específicos, ainda assim podem causar efeitos colaterais interferindo na população de organismos não alvos (Moreira & Siqueira, 2002). Muitos desses produtos apresentam baixas concentrações de toxicidade, ou seja, o potencial varia conforme o tipo de produto químico. Entretanto, o impacto de baixas concentrações de um agrotóxico pode ser

algumas vezes maior do que um segundo, presente em níveis mais altos no solo. Além disso, a duração da eficácia de um agrotóxico (persistência) é determinada por sua estrutura química, concentração e condições ambientais, tendo influência sobre comunidade ou populações constituintes do solo (Sáfadi, 1995).

Um aspecto interessante a ser considerado no contexto da persistência dos xenobióticos no solo e sua influência sobre as propriedades físicas e sobre os organismos do solo é o nível de acumulação deste, que depende da taxa e frequência de aplicação.

No campo da microbiologia do solo, verifica-se que o tempo de recuperação de um ecossistema alterado por agentes tóxicos depende essencialmente do nível de atividade residual, o qual, quanto mais alto, menor é o tempo para a recuperação (Moreira & Siqueira, 2002). Na maioria dos casos, a microbiota se recupera, podendo até mesmo retornar a níveis superiores ao original. Em trabalho clássico realizado por Martin & Focht (1977), foi verificado que o tratamento de um solo com Cloropicrina reduziu sua população de bactérias, um dia após a aplicação, de  $48 \cdot 10^6$  para  $4 \cdot 10^6$  bactérias  $g^{-1}$  de solo, porém 10 dias após, o solo tratado comportava  $71 \cdot 10^6$  bactérias  $g^{-1}$  de solo. Respostas como essas não são incomuns, mas existem casos de depressão duradoura da população edáfica. Dimond & Owen (1996), em estudo desenvolvido no estado do Maine – EUA, verificaram que o DDT aplicado na década de 50 para controlar a praga florestal *Choristoneura fumifera* (Clem), que ataca brotações de espécies arbóreas, foi detectado ainda em concentrações elevadas no solo, em 1995. Esses pesquisadores verificaram ainda que o DDT residual encontrava-se na camada superficial do solo (1 a 6 cm), indicando que o composto não foi lixiviado e que, automaticamente, toda a comunidade do solo esteve submetida à sua ação.

A definição de equilíbrio durante o estabelecimento de um plantio florestal exige que se considere, portanto, a existência de fatores de ordem biológica e antrópica, que interagem no ecossistema do solo, dentre os quais se enquadra a importância da manutenção da fauna edáfica e das propriedades físicas do solo frente às práticas silviculturais atualmente adotadas para esse fim.

## 2.7 Referências Bibliográficas

ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF**. 2007 (Ano Base 2006). Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp> (Acessado em 28/12/2007).

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 711-721, 2000.

ALVARENGA, R. C. et al. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 319-326, 1996.

ANTONY, L. M. K. Influência do corte seletivo sobre a biota do solo de uma floresta de "terra-firme" na Amazônia Central. **Anais...**, CD-ROM, XIII Congresso Latinoamericano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia, SP, 1996 a.

ANTONY, L. M. K. Abundância e distribuição vertical da fauna do solo de ecossistemas amazônicos naturais e modificados - (dados não-publicados), 1996 b.

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Eds.) **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, p. 363-444, 1997.

BADEJO, M. A.; OLA-ADAMS, B. A. Abundance and diversity of soil mites of fragmented habitats in a biosphere reserve in Southern Nigeria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, 10 p., 2000.

BARROS, E.; CURMI, P.; LAVELLE, P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of oxisol in the process of forest to pasture conversion. **Geoderma**, v.100, p.193-213, 2001.

BROCK, T. D. et al. **Microbiologia**. 4 Ed. Prentice-Hall. Hisponoamericana S.A., México. 1984, 905p.

CANTO, A. C. Alterações da mesofauna do solo causadas pelo uso de cobertura com plantas leguminosas na Amazônia central. **Série Agrárias**, v. 4/5, n. 1/2, p. 79-94, 1996.

CARDOSO, E. J. B. N. Ecologia microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.) **Microbiologia do solo**, Campinas: SBCS, 1992, p. 33-39.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Florestais Brasileiras: Recomendações Silviculturais, Potencialidades e Uso da Madeira**. Colombo, EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Floresta, 1994, 639 p.

CATELAN, A. J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 125-132, 1990.

CORTET, J. et al. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, n. 3, p. 115-134, 1999.

CORTET, J. et al. Effects of pesticides on organic matter recycling and microarthropods in a maize field: use and discussion of the litterbag methodology. **European Journal of Soil Biology**, v. 38, p. 261-265, 2002.

CURRY, J. P.; GOOD, J. A soil fauna degradation and restoration. **Advances in Soil Science**, v. 17, p. 171-215, 1992.

DEDECEK, R. A. et al. Germinação e vigor de sementes de *Acacia mearnsii* De Wild. coletadas em diferentes povoamentos do Estado do Rio Grande do Sul. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento/ EMBRAPA. n.º 39**, p. 1-4, 2000.

DIMOND, J. B.; OWEN, R. B. Long-term residue of DDT compounds in forest soils in Maine. **Environmental Pollution**, London, v. 92, n. 2, p. 227-230, 1996.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F & STEWART, B. A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994, p.3-21.

DUCATTI, F. **Fauna edáfica em fragmentos florestais e em áreas reflorestadas com espécies da Mata Atlântica**. 2002. 70f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba, 2002.

ELKINS, N. Z. et al. The influence of subterranean termites on the hydrological characteristics of a Chihuahuan desert ecosystem. **Oecologia**, v. 68, p. 521-528, 1986.

FARIA, J. C.; SCHAEFER, C. E. R.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of a brasilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 731-741, 1998.

FISHER, R. F.; BINKLEY, D. **Ecology and management of forest soils**. 3.ed. London: John Wiley, 2000, 489p.

FLECHTMANN, C. H. W. **Elementos de acarologia**. São Paulo: Nobel, 1975, 344p.

KNOEPP, J. D. et al. Biological indices of soil quality: na ecosystem case study of their use. **Forest Ecology and Management**. v. 138, p. 357-368, 2000.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Instituto de Silvicultura da Universidade de Göttingen, 1990, 343 p.

LARINK, O. Springtail and Mites: important knots in the food web of soil. In: BENCKISER, G. (Ed.). **Fauna in soil ecosystems: recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production**. New York: Marcel Dekker, 1997, p. 225-264.

LAVORENTI, A. et al. Comportamento do Diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 183-190, 2003.

LINDEN, R. D. et al. Faunal indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Ed). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of American, 1994. p.91-106.

LORANGER, G. et al. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). **European Journal Soil Biology**, v.34, n.4, p.157-165, 1998.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: leguminosas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2007. 199p.

MARTIN, J. P.; FOCHT, D. D. Biological properties in soils. In: ELLIOT, L. F.; STEVENSON, F. J. (Ed.). **Soils for management of organic waste waters**. Madison: American Society Agromony, 1977, p. 115-169.

MELO, I. S. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas: descrição e potencial de uso na agricultura. In: MELO, I. S. & AZEVEDO, J. L. , (Ed.), **Ecologia Microbiana**. EMBRAPA/CNPMA, p. 16-59, 1998.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 1149-1159, 2003.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. Xenobióticos no solo. In: **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras; Ed. UFLA, 2002, cap. 6, p. 243-284.

MOSUMECI, M. R. Defensivos agrícolas e sua interação com a microbiota do solo. In: TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Solos, 1992, p. 341-360.

OLIVEIRA, M. Conhecimento no campo. **Revista Pesquisa Fapesp**, nº 85, 2003.

PATRICIO, I. E. M. S. **Biotecnologia e mercados: perspectivas para o caso brasileiro**. Rio de Janeiro, 1993. 72f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993.

POGGIANI, F; OLIVEIRA, R. E.; CUNHA, G.C. da. Práticas de ecologia florestal. **Documentos Florestais**, Piracicaba, n.16, p.1-44, 1996.

POTT, C. A.; MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 19-27, 2003.

RACKE, K. D. Pesticides in the soil microbial ecosystem. In: RACKE, K.D., COATS, J.R. **Enhanced biodegradation of pesticides in the environment**. Iowa: Dow Elanco, p. 1-12, 1990.

RHEINHEIMER, D. S. **Monitoramento Ambiental de Microbacia Hidrográfica**. UFSM / FEPAGRO / FATEC. Santa Maria, 2001, 127 p.

SÁFADI, R. S. Importância da análise de resíduos de pesticidas em estudos ecotoxicológicos. **Pesticidas: Revista Técnica Científica**, v. 5, p. 111-118, 1995.

SAUTTER, K. D. Insetos bioindicadores na recuperação de solo. **Revista Ciência Hoje**, v. 12, n. 72 (abril/maio), p. 20-21, 1991.

SHERRY, S. P. **The black wattle (*Acacia mearnsii*)**. Pietermaritzburg: University of Natal. 1971, 402 p.

SILVA, R. A.; CARVALHO, G. S. Ocorrência de insetos na cultura do milho em sistema de plantio direto, coletados com armadilhas de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 199-203, 2000.

SINDAG. Sindicato Nacional das Indústrias de Produtos para Defesa Agrícola. 2003, [on line]. Disponível: <http://www.sindag.com.br/meios>. (Acessado em 22/06/2003).

SBS. Setor Florestal Brasileiro. **Dados Sócio-Econômicos, 2001**. [on line]. Disponível em: [http://www.sbs.org.br/setor\\_florestal.htm](http://www.sbs.org.br/setor_florestal.htm). (Acessado em 24/12/2007).

STEINHARDT, G. C. Soil quality: A new Idea that includes an old one. **Journal of Soil Water Conservation**, v. 50, p. 222- 232, 1995.

STORK, N. E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, p. 38-47, 1992.

TOLEDO, R. E. B. **Faixas e períodos de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento do eucalipto**. 2002. 146f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

WOOD, T. G. Termites and the soil environment. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, p. 228-236, 1988.

TEIXEIRA, L. B.; SCHUBART, H. O. R. Mesofauna do solo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia central. **Boletim de Pesquisa EMBRAPA CPATU**, n. 95, p. 1-16, 1998.

ZAMBRONE, F. A. D. Defensivos agrícolas ou agrotóxicos? Descrição: perigosa família. **Revista Ciência Hoje**, v. 4, n. 22, p.44-47, 1996.

### **3 INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS SOBRE A MESO E MACROFAUNA EDÁFICA EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.)**

#### **3.1 Introdução**

Fauna do solo é uma expressão utilizada quando se deseja referenciar a comunidade de invertebrados que passa um ou mais ciclos de vida no solo. Em caráter específico, são os microorganismos e os invertebrados do solo os responsáveis por todo o processo de decomposição e ciclagem de nutrientes (Correia & Oliveira, 2000; Aquino, 2005). Tanto os microorganismos como a fauna do solo são capazes de modificar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. É no sistema solo-serapilheira o habitat natural para uma grande variedade desta comunidade edáfica, embora bastante complexa sob o ponto de vista qualitativo e quantitativo.

As práticas de manejo utilizadas em um sistema de produção podem afetar de forma direta e indireta a fauna do solo, o que se reflete na sua densidade e diversidade (Correia & Oliveira, 2000). Os impactos diretos correspondem à ação mecânica imposta pelo tipo de manejo do solo e, indiretamente, relacionados à modificação da estrutura do habitat e dos recursos alimentares. Para Giller et al. (1997), a diversidade de invertebrados do solo é afetada pela atividade antrópica, reduzindo a disponibilidade de recursos e refúgios, o que afeta a diversidade de outros organismos e a função que desempenham no ecossistema. Distúrbios causados por poluentes no solo resultam em drásticas alterações sobre a sua fauna, afetando significativamente o funcionamento desses organismos no ecossistema (Cortet et al., 1999), considerados como importantes bioindicadores de sua fertilidade (Blandin, 1986; Paoletti & Bressan, 1996).

Não obstante, no cenário silvicultural brasileiro e, especificamente em plantios de acácia-negra, uma das práticas de manejo tem sido, com perspectivas de larga utilização, o emprego de produtos fitossanitários de ação herbicida para o controle de plantas infestantes, com o propósito de minimizar a concorrência por luz, água e nutrientes imposta pela matocompetição. Este tipo de manejo visa, muitas vezes, ao máximo de controle desse componente por meio de herbicidas, e os possíveis efeitos dele sobre a fauna do solo podem variar, não só em função dos compostos químicos utilizados, como também o método e intensidade de aplicação sobre o solo. Dentre os herbicidas utilizados no cultivo de espécies

florestais, destacam-se o Oxyfluorfen e o Glyphosate, sendo o último utilizado em grande escala, pelo fato de ser aplicado em pós-emergência das plantas infestantes, facilitando o manejo em áreas de cultivo mínimo, de modo a assegurar pleno potencial produtivo ao cultivo florestal, minimizando o custo de produção e o impacto ambiental.

Os herbicidas em geral têm um efeito inibidor nas populações da fauna de solo, que, no entanto, é menos pronunciado que o de fungicidas e inseticidas. Para Wardle (1995), a redução nas densidades de algumas comunidades edáficas é resultado mais da simplificação do habitat, pela retirada da cobertura viva proporcionada pelas ervas daninhas, do que propriamente resultado da intoxicação da fauna. Em contrapartida, essa redução e possíveis oscilações populacionais podem estar associadas diretamente à exposição dos organismos aos efeitos da aplicação dos agroquímicos sobre o solo (Paoletti et al., 1995).

A importância da fauna edáfica como bioindicadora da estabilidade biológica, física e química do solo é interpretada como ferramenta crucial para entendimento da funcionalidade do ecossistema solo. Porém, muito ainda é necessário conhecer para sua efetiva utilização com esse objetivo e então identificar opções de manejo mais adequadas à manutenção da capacidade produtiva do solo (Lavelle, 1996; Aquino, 2005). Nesse contexto, uma das limitações é a retratação da comunidade edáfica na íntegra. O que tem sido feito é retratar parcelas dessa comunidade, determinando a composição de organismos em nível de grandes grupos taxonômicos (classe ou ordem, eventualmente família), em uma determinada fração do habitat. Parte dessas limitações pode ser contornada, quando se trabalha com comparações, tanto entre diferentes épocas do ano, como entre comunidades e sistemas de manejo impostos sobre o ecossistema do solo (Moço et al., 2005).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar, por meio de análise multivariada, o efeito da aplicação de diferentes herbicidas sobre a composição da meso e macrofauna epiedáfica durante o estabelecimento de um plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), considerando as variações sazonais.

## 3.2 Material e Métodos

### 3.2.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em condições de campo, na Unidade de Pesquisa Florestal pertencente à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), em Santa Maria, RS (Figura 3.1 A).

A área de estudo está localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Estado (Rambo, 1994), com altitude variando entre 90 e 135 metros. A topografia geral varia entre plana a suavemente ondulada, na qual as áreas mais elevadas da paisagem são alongadas e formadas por superfícies aplainadas. Segundo Köppen, o clima da região é classificado como subtropical úmido, do tipo Cfa. A temperatura média mensal é de 19°C, sendo a média dos meses mais quentes superior a 30°C (dezembro/janeiro) e dos meses mais frios entre 13 e 18°C (julho/agosto). A precipitação média anual é de 1770mm, com número médio anual de 113 dias de chuva.

O solo da área experimental reservada ao estudo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico, bem drenado, originário de arenitos e siltitos da Formação Santa Maria (EMBRAPA, 1999). A vegetação natural predominante é a de campo nativo, com histórico de uso como área de pastagem, sem ter havido a intervenção para formação de campo agrícola nos últimos 15 anos.

Com ausência de declividade (Figura 3.1 B), exigência básica para trabalhos nos quais será avaliado o comportamento de moléculas químicas no solo, a área apresentava, inicialmente, uma cobertura vegetal representada, predominantemente, por espécies gramíneas rizomatosas-estoloníferas de baixo porte (gêneros *Paspalum*, *Axonopus*, *Andropogum*, *Panicum* e *Aristida*), e espécies semi-arbustivas, como vassouras e carquejas (*Baccharis* spp.), Maria-mole (*Sennecio* sp.), dentre outras.

Nessa condição topográfica, foi planejado e instalado o arranjo experimental com os tratamentos propostos, como mostra, esquematicamente, a Figura 3.1 C.

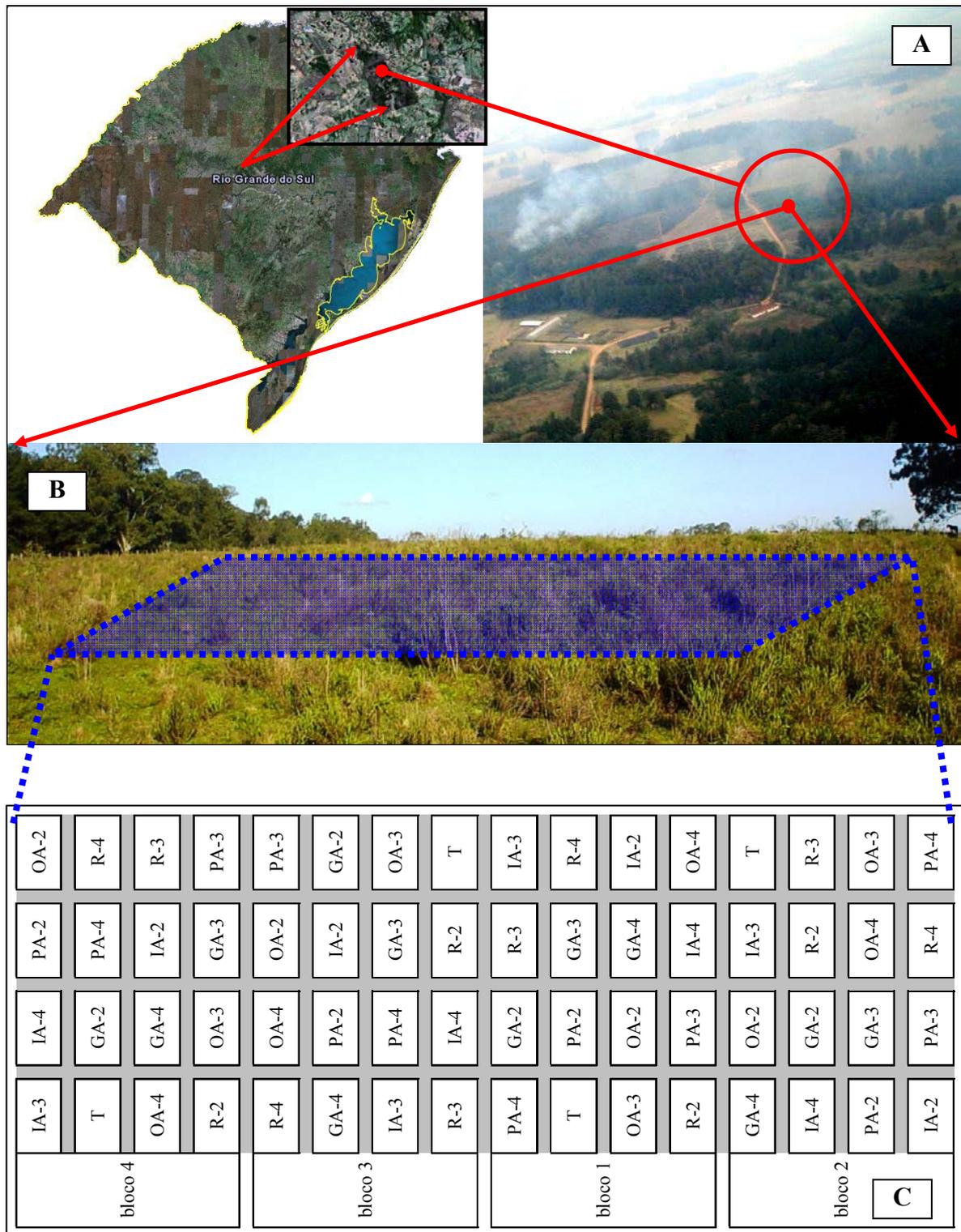


Figura 3.1 – Localização da área de estudo (A), com detalhe para a declividade e cobertura vegetal nativa antes da instalação do experimento (B) e do arranjo experimental (C), na Unidade de Pesquisa Florestal da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), onde: G=tratamento com herbicida Glyphosate; I=tratamento com herbicida Imazapyr; O=tratamento com herbicida Oxyfluorfen; P=tratamento com herbicida Pendimethalin; R=tratamento manual (roçada); T=testemunha absoluta; sendo A-2=duas aplicações ao ano; A-3=três aplicações ao ano e A-4=quatro aplicações ao ano. Santa Maria (RS).

### 3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram definidos pela aplicação de herbicidas, caracterizados pela distinção entre grupos químicos e ingredientes ativos. Todos os herbicidas que compõem os tratamentos apresentam registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e/ou extensão de uso para utilização em plantios florestais no Brasil. A quantidade de produto a ser aplicada em cada um dos tratamentos terá como base a dosagem técnica (Rótulo) recomendada pelos respectivos fabricantes (Tabela 3.1).

Dessa forma, os tratamentos testados estão assim constituídos:

- a) Tratamento “G”: Ingrediente Ativo *Glyphosate* – Aplicação de herbicida com ação pós-emergente, na dosagem de 4,0 L ha<sup>-1</sup>;
- b) Tratamento “I”: Ingrediente Ativo *Imazapyr* – Aplicação de herbicida com ação pré e pós-emergente, na dosagem de 3,0 L ha<sup>-1</sup>;
- c) Tratamento “O”: Ingrediente Ativo *Oxyfluorfen* – Aplicação de herbicida com ação pré-emergente, na dosagem de 4,0 L ha<sup>-1</sup>;
- d) Tratamento “P”: Ingrediente Ativo *Pendimethalin* – Aplicação de herbicida com ação pré-emergente, na dosagem de 3,0 L ha<sup>-1</sup>;
- e) Tratamento “R”: Roçada Manual – Limpeza por meio de roçada manual (motorroçadeira), não havendo aplicação de herbicidas; e
- f) Tratamento “T”: Testemunha – Sem aplicação de herbicidas e nenhuma forma de limpeza da área.

De modo a simular as condições reais de utilização desses herbicidas durante a implantação de florestas, atualmente adotadas pelas empresas de base florestal no Brasil, os tratamentos descritos, exceto o tratamento T, foram aplicados duas (2), três (3) e quatro (4) vezes ao ano, totalizando 16 tratamentos. Usualmente, o número médio de intervenções com herbicidas durante a implantação e a manutenção florestal (1,5 a 2 anos após o plantio) varia de duas a quatro aplicações anuais e depende, dentre outros fatores, do tipo de solo e banco de sementes de plantas infestantes presente no mesmo.

Cada unidade experimental (parcela) assumiu dimensão de 15m x 10m (150m<sup>2</sup>) e foi alocada na área sob o delineamento blocos ao acaso, no esquema bifatorial (tipo de herbicida X número de aplicações), com quatro repetições. Desse modo, foram instaladas 64 unidades experimentais (0,96 ha), com bordadura de 3,0m de largura entre as parcelas.

Tabela 3.1 – Caracterização técnica dos produtos fitossanitários (herbicidas) utilizados no estudo, conforme dados expedidos pelos respectivos fabricantes.

Denominação do herbicida utilizado no estudo	Especificações técnicas do herbicida <sup>(*)</sup>
Glyphosate	<p>Ingrediente ativo (i.a.): <i>Glyphosate</i>                      Composição química:  <b>Sal isopropilamina de N-(fosfometil) glicina</b>                      Grupo Químico: <b>Glicina substituída</b>                      Equivalente ácido do ativo: <b>480 g litro<sup>-1</sup></b>                      Formulação: <b>Concentrado solúvel / GRA</b>                      Tipo de aplicação: <b>Pós-emergente</b>                      Finalidade de uso: <b>Controle da vegetação</b>                      Classe Toxicológica: <b>IV – Pouco Tóxico</b>                      Periculosidade Ambiental: <b>III – Perigoso</b></p>
Imazapyr	<p>Ingrediente ativo (i.a.): <i>Imazapyr</i>                      Composição química:  <b>Ácido nicotínico 2-(4-isopropil-4-metil-5-oxo-imidazolinona-2-ilo)</b>                      Grupo Químico: <b>Imidazolinona</b>                      Equivalente ácido do ativo: <b>250 g litro<sup>-1</sup></b>                      Formulação: <b>Concentrado solúvel</b>                      Tipo de aplicação: <b>Pré e Pós-emergente</b>                      Finalidade de uso: <b>Controle da vegetação</b>                      Classe Toxicológica: <b>III – Medianamente Tóxico</b>                      Periculosidade Ambiental: <b>III – Perigoso</b></p>
Oxyfluorfen	<p>Ingrediente ativo (i.a.): <i>Oxyfluorfen</i>                      Composição química:  <b>2-chloro-a,a,a-trifluoro-p-tolyl 3-ethoxy-4-nitro-phenyl ether</b>                      Grupo Químico: <b>Éter difenílico</b>                      Equivalente ácido do ativo: <b>240 g litro<sup>-1</sup></b>                      Formulação: <b>Concentrado emulsionável</b>                      Tipo de aplicação: <b>Pré-emergente</b>                      Finalidade de uso: <b>Controle da vegetação</b>                      Classe Toxicológica: <b>III – Medianamente Tóxico</b>                      Periculosidade Ambiental: <b>II – Muito Perigoso</b></p>
Pendimethalin	<p>Ingrediente ativo (i.a.): <i>Pendimethalin</i>                      Composição química:  <b>N-(1-ethylpropyl)-2,6-dinidro-3,4-xylidine</b>                      Grupo Químico: <b>Dinitroanilina</b>                      Equivalente ácido do ativo: <b>500 g litro<sup>-1</sup></b>                      Formulação: <b>Concentrado emulsionável</b>                      Tipo de aplicação: <b>Pré e Pós-emergente</b>                      Finalidade de uso: <b>Controle da vegetação</b>                      Classe Toxicológica: <b>III – Medianamente Tóxico</b>                      Periculosidade Ambiental: <b>III – Perigoso</b></p>

<sup>(\*)</sup> Dados fornecidos pelo fabricante de cada um dos herbicidas testados.

### 3.2.3 Instalação e manutenção da área experimental

Em todas as unidades experimentais foi realizado o plantio de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) com altura padrão de 30 cm e quatro meses de idade, adquiridas em viveiro de produção de mudas localizado no município de Montenegro (RS).

O preparo do solo foi do tipo reduzido, sob sistema mecanizado com grade rotativa (profundidade média de 30 cm). Na linha de plantio, a faixa de solo revolvido através do preparo foi de 1,0 m de largura.

O plantio das mudas foi realizado em outubro de 2005, no espaçamento de 3,0 m entre linhas e 1,33 m entre plantas (densidade de 2500 árvores ha<sup>-1</sup>), conforme a prática convencional em plantios comerciais dessa espécie. Não foi adotada nenhuma prática de fertilização de solo previamente ao plantio das mudas, nem tampouco após o mesmo. A sobrevivência das mudas foi monitorada e mantida ao redor de 90%, tendo sido realizado o replantio de mudas até 40 dias após o plantio.

A instalação dos tratamentos nas parcelas que receberam herbicidas (junho de 2006) foi por meio de pulverizador costal, com controle de pressão para uma vazão de 200 litros de calda.ha<sup>-1</sup>, aplicado na área total delimitada pela parcela. Não se adotou o regime mecanizado para aplicação de herbicidas no intuito de evitar riscos de compactação do solo no decorrer das aplicações. Nas parcelas experimentais que receberam o tratamento R, a roçada manual foi simultaneamente com as aplicações de herbicidas (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Descrição dos tratamentos, número de aplicações e tipo de herbicidas utilizados pelo período de um ano após a instalação do experimento, em quatro unidades amostrais, para cada tratamento. Santa Maria (RS).

Nº de tratamentos	Código do Tratamento*	Descrição do herbicida			Nº de aplicações		
		Ingrediente Ativo (i.a.)	(g i.a. L <sup>-1</sup> )	Dosagem (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	2	3	4
1	T	Testemunha	-	-	-	-	-
2	0A-2	Oxyfluorfen	480	1920	x		
3	0A-3	Oxyfluorfen	480	1920		x	
4	0A-4	Oxyfluorfen	480	1920			x
5	GA-2	Glyphosate	360	1440	x		
6	GA-3	Glyphosate	360	1440		x	
7	GA-4	Glyphosate	360	1440			x
8	IA-2	Imazapyr	250	750	x		
9	IA-3	Imazapyr	250	750		x	
10	IA-4	Imazapyr	250	750			x
11	PA-2	Pendimethalin	500	1500	x		
12	PA-3	Pendimethalin	500	1500		x	
13	PA-4	Pendimethalin	500	1500			x
14	R-2	Limpeza manual	-	-	x		
15	R-3	Limpeza manual	-	-		x	
16	R-4	Limpeza manual	-	-			x

Onde: g – gramas; i.a. – ingrediente ativo; \* conforme arranjo experimental apresentado na Figura 3.1.

### 3.2.4 Caracterização da meso e macrofauna epiedáfica

Para a caracterização e identificação da meso e macrofauna, foram realizadas amostragens em intervalos trimestrais, pré-estabelecidas nos meses que representam as quatro estações do ano: julho (inverno), outubro (primavera), janeiro (verão) e abril (outono). Ao longo do ano, essas quatro amostragens foram coletadas em todos os tratamentos 30 dias após a aplicação dos herbicidas (e da mesma forma para o tratamento de roçada manual – R e testemunha – T).

As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Entomologia Florestal do Departamento de Defesa Fitossanitária, na UFSM. Foram analisadas a meso e macrofauna epiedáfica através de coletas realizadas pelo método de captura PROVID (Antoniolli et al., 2006), o qual se adapta à coleta de organismos com maior mobilidade (Figura 3.2). Para tal, foram instaladas duas armadilhas de captura por unidade experimental (linha e entrelinha de plantio), perfazendo um total de oito amostras por tratamento. As armadilhas permaneceram no campo por um período de quatro dias.

Em laboratório, a separação dos componentes da meso e macrofauna foi por feita meio de catação manual, a olho nu, com pinças e, quando necessário, lupa binocular. Os organismos foram acondicionados em recipientes plásticos, contendo solução de álcool (80%) e glicerina líquida (1%), para posterior classificação.

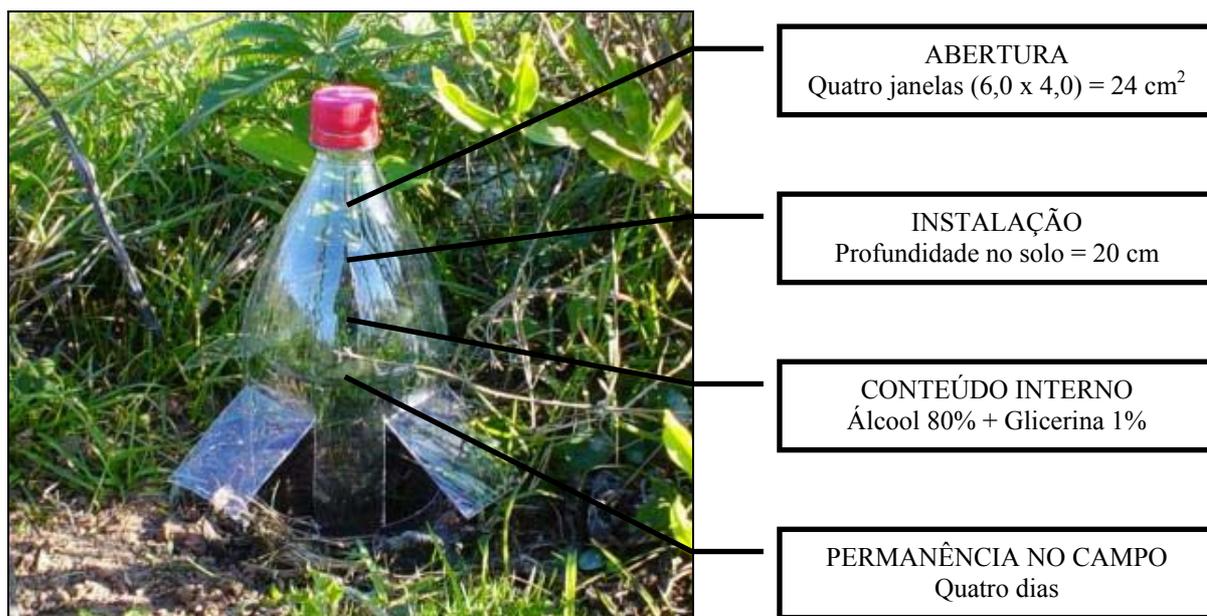


Figura 3.2 – Armadilha do tipo PROVID utilizada nas coletas da meso e macrofauna epiedáfica na área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) submetida à aplicação dos herbicidas. FEPAGRO. Santa Maria (RS). Fonte: Antoniolli et al. (2006).

Os organismos presentes nas amostras foram quantificados e identificados em nível de Classe e Ordem.

### 3.2.5 Análise estatística

A partir do resultado do número de indivíduos capturados em cada uma das coletas, foram obtidos o Índice de Diversidade de Shannon ( $H$ ) e a riqueza de grupos taxonômicos (número total de grupos taxonômicos). O Índice de Diversidade de Shannon foi obtido pela relação ( $H = - \sum p_i \cdot \log p_i$ ), onde:  $p_i = n_i / N$ ;  $n_i$  = densidade de cada grupo (família ou espécie quando determinada),  $N$  = número total de grupos (família ou espécie quando determinada). A densidade de cada grupo taxonômico da meso e macrofauna epiedáfica nas diferentes épocas de coleta (inverno, primavera, verão e outono), em função dos diferentes tratamentos e intensidade de aplicação dos herbicidas, foi utilizada para a obtenção do comprimento do gradiente. Face ao comprimento deste gradiente ter sido menor que três (resposta linear), optou-se pela Análise de Componentes Principais (ACP), usando o programa *Statistica StatSoft, Inc.* (2004) versão 7.0. Os atributos ambientais como temperatura e precipitação foram utilizadas na ACP, como variáveis ambientais explicativas sobre o comportamento da meso e macrofauna dos quatro grupos mais representativos estudados (himenópteros – *hym*; dípteros – *dip*; colêmbolos – *clb*; e aranhas – *ara*).

## 3.3 Resultados e Discussão

### 3.3.1 Índice de Diversidade de Shannon (H) e riqueza de grupos taxonômicos

Analisando-se dentro de cada uma das estações do ano, os valores para o índice de Shannon foram semelhantes entre as unidades amostrais que receberam duas, três e quatro aplicações de herbicidas (Tabela 3.3). Esse índice leva em consideração a riqueza de grupos taxonômicos e a uniformidade, que é a distribuição do número de indivíduos entre os grupos (Odum, 1983), mostrando não haver, desse modo, um efeito pronunciado da intensidade de aplicação sobre a meso e macrofauna epiedáfica, pois as unidades amostrais consideradas testemunhas mostram valores semelhantes às unidades amostrais que receberam herbicidas. Contudo, esses valores diferiram em patamares que devem ser analisados com maior atenção entre as variações estacionais, ao longo do período de avaliação.

Tabela 3.3 - Índice de Diversidade de Shannon ( $H$ ) e riqueza de grupos taxonômicos encontrados em área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetida a diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas ao longo de um ano, nas quatro estações do ano (período de julho de 2006 a maio de 2007). Santa Maria (RS).

Tratamentos	Índice de Shannon ( $H$ )			
	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO	OUTONO
<i>DUAS aplicações ao ano</i>				
Glyphosate	1,01	0,61	1,02	1,02
Imazapyr	0,95	0,65	1,38	0,89
Oxyfluorfen	0,72	0,39	1,06	1,08
Pendimethalin	1,04	0,56	0,91	1,31
Roçada manual	0,85	0,78	0,89	1,10
Testemunha	1,19	0,48	0,87	1,02
<i>Média(H)</i>	<i>0,96</i>	<i>0,58</i>	<i>1,02</i>	<i>1,07</i>
<b>Riqueza</b>	<b>5,2</b>	<b>7,5</b>	<b>9,0</b>	<b>8,0</b>
<i>TRÊS aplicações ao ano</i>				
Glyphosate	1,11	0,87	0,84	0,76
Imazapyr	1,09	0,76	1,44	0,97
Oxyfluorfen	0,76	0,75	1,44	0,88
Pendimethalin	1,01	0,56	1,24	0,70
Roçada manual	1,05	0,39	1,41	1,00
Testemunha	1,19	0,48	0,87	1,02
<i>Média(H)</i>	<i>1,03</i>	<i>0,64</i>	<i>1,21</i>	<i>0,89</i>
<b>Riqueza</b>	<b>5,0</b>	<b>7,5</b>	<b>9,2</b>	<b>8,7</b>
<i>QUATRO aplicações ao ano</i>				
Glyphosate	1,00	0,83	0,87	0,96
Imazapyr	0,71	0,56	1,31	0,88
Oxyfluorfen	1,14	0,34	1,24	0,83
Pendimethalin	0,98	0,84	1,05	1,05
Roçada manual	0,87	0,54	1,08	0,95
Testemunha	1,19	0,48	0,87	1,02
<i>Média(H)</i>	<i>0,98</i>	<i>0,60</i>	<i>1,07</i>	<i>0,95</i>
<b>Riqueza</b>	<b>5,2</b>	<b>7,7</b>	<b>9,3</b>	<b>8,2</b>

Entre as três intensidades de aplicação dos herbicidas testados (duas, três e quatro vezes ao ano), os valores médios encontrados para o índice de Shannon variaram de 0,96 a 1,03 no inverno; 1,02 a 1,21 no verão e 0,89 a 1,07 no outono. Em contrapartida, os valores médios para  $H$  encontrados na estação da primavera (Tabela 3.3) foram os mais baixos registrados, variando de 0,58 a 0,64, com limites inferior e superior, respectivamente, de 0,39 (duas aplicações de Oxyfluorfen) e 0,87 (três aplicações de Glyphosate). Esses resultados evidenciam que há independência da ação de herbicidas e sim da alta densidade de alguns organismos dentro de cada grupo taxonômico presente no ecossistema avaliado. A constatação dessa alta densidade de organismos na época da primavera, principalmente

formigas e colêmbolos (dado não apresentado), pode ter reduzido a diversidade, uma vez que, quanto maior a densidade de fauna em determinada cobertura, maior será a chance de algum grupo estar predominando e, portanto, reduzindo a distribuição do número de indivíduos entre os grupos (Uramoto et al., 2005).

Os valores da riqueza de grupos taxonômicos foram distintos entre as estações do ano nas quais os levantamentos foram realizados. O maior número de grupos funcionais foi verificado na estação de verão, para todas as intensidades de aplicação dos herbicidas testados (Tabela 3.3). Embora apresentando médias semelhantes para esse índice faunístico (riqueza), os maiores valores foram verificados em coletas realizadas nas unidades amostrais que receberam quatro aplicações, independentemente do tipo de herbicida.

No inverno, o menor valor constatado para riqueza de grupos taxonômicos foi 5,0, sendo o menor dentre os demais. Em contrapartida, valores médios de até 9,3 (verão) foram constatados nas demais estações do ano. Esses valores podem ser explicados pela alta densidade de formigas e dípteros quando comparada à densidade de organismos nos demais grupos presentes nas coletas realizadas no inverno (quatro grupos), enquanto no verão foi constatada a ocorrência de 10 grupos taxonômicos, todos com densidades regulares de organismos, exceto para formigas e colêmbolos, que apresentaram densidades mais elevadas. Esses resultados corroboram os encontrados por Moço et al. (2005) que analisaram a fauna edáfica no sistema solo-serapilheira em diferentes estações do ano, e outros estudos (Baretta et al.; Merlim, 2005) que mostram que a comunidade de macrofauna do solo pode diminuir em abundância e riqueza de grupos taxonômicos no período de menor ocorrência de chuvas.

Os diferentes tipos e intensidades de aplicação dos herbicidas testados podem ter influenciado diretamente a comunidade meso e macrofauna epiedáfica em função do controle da vegetação infestante na área de plantio das mudas, acelerando o processo de decomposição desse material vegetal e, assim, aumentando a atividade biológica no sistema solo-serapilheira através da decomposição desses resíduos. Para Barbault et al. (1991), tanto o número de grupos funcionais, como a diversidade taxonômica nesses grupos é influenciada pela heterogeneidade espacial local, já que o solo é um ambiente estratificado, com uma gama de diferentes micro-habitats na liteira e no perfil do solo e, portanto, com um grande número de grupos funcionais associados (Lavelle, 1996).

Entretanto, as medidas de diversidade da meso e macrofauna do solo permitem uma primeira inferência sobre o grau de complexidade e das interações ecológicas existentes entre as comunidades de organismos do solo. No presente estudo, essa complexidade ecológica está representada pelos valores de  $H$  e da riqueza de grupos taxonômicos, que evidenciaram pouca

influência da intensidade de aplicação e dos tipos de herbicidas aplicados. As distinções verificadas para esses atributos faunísticos foram, naturalmente, em decorrência da época de coleta (estações do ano).

### 3.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP) nas quatro estações do ano

Em circunstâncias de grande massa de informações, uma das ferramentas estatísticas também passível de ser utilizada é a Análise Multivariada que, por meio de vários métodos e técnicas, permite a interpretação teórica do conjunto de dados obtidos. Assim, os dados acerca da meso e macrofauna epiedáfica foram analisados através da Análise de Componentes Principais (ACP). O objetivo da ACP não é somente explicar as correlações existentes entre as variáveis, mas encontrar funções matemáticas, entre as variáveis iniciais, que expliquem o máximo possível da variação existente nos dados e permita descrever e reduzir essas variáveis.

A amostra utilizada, para este estudo, refere-se a quatro coletas da meso e macrofauna epiedáfica, cujos resultados analisados são mostrados separadamente, conforme a variação estacional na qual ocorreu cada uma das coletas (inverno, primavera, verão e outono). Para tanto, alguns resultados iniciais são apresentados para melhor entendimento dos métodos de análise multivariada adotados no presente estudo.

Os organismos coletados pelo método PROVID na estação do inverno compuseram oito grupos taxonômicos, considerando-se todas as intensidades de aplicação dos herbicidas sobre o solo (duas, três e quatro aplicações no período de um ano) [Figura 3.3 A]. A maior frequência nesta época foi representada pelos grupos taxonômicos *hym* (formigas) e *dip* (moscas e mosquitos), seguidos por chilópodas, opiliões e colêmbolos.

Na primavera, foram coletados organismos pertencentes a nove grupos (Figura 3.3 B), enquanto que no verão e outono, onze grupos foram identificados (Figura 3.3 C e D, respectivamente). Nas coletas realizadas na primavera e verão, os organismos mais representativos em frequência foram formigas e colêmbolos.

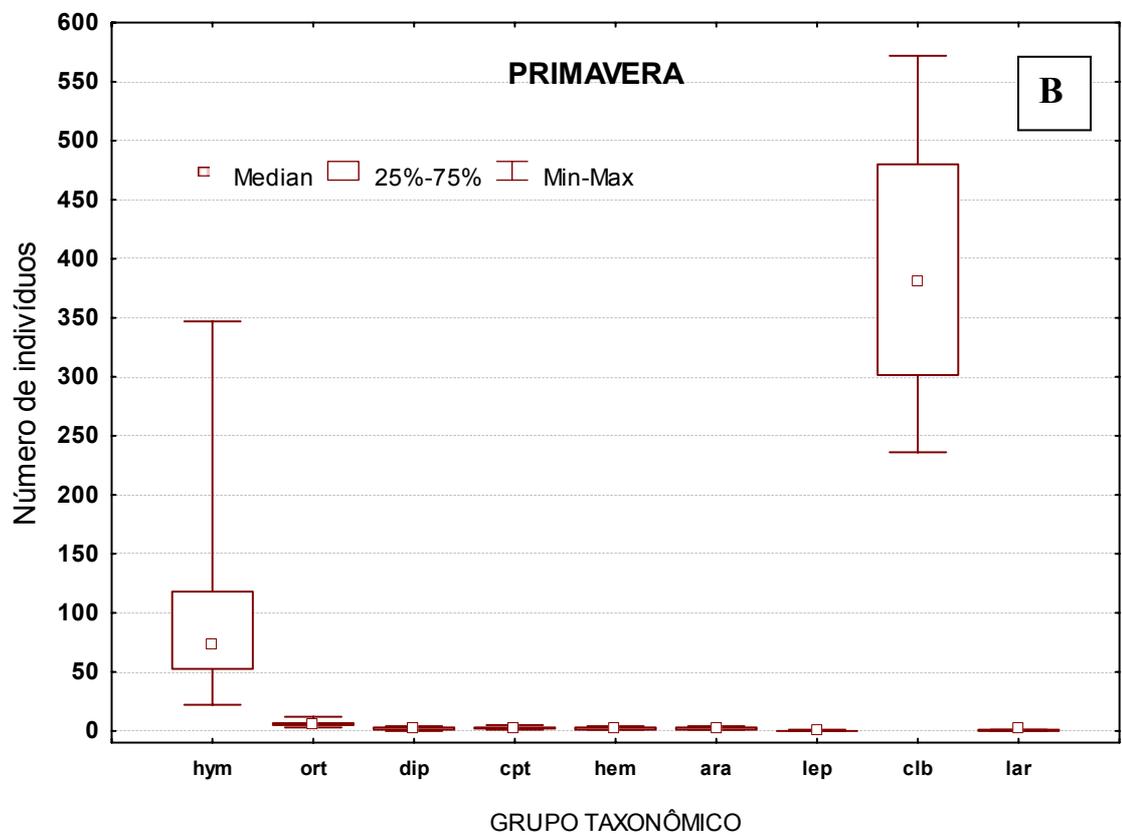
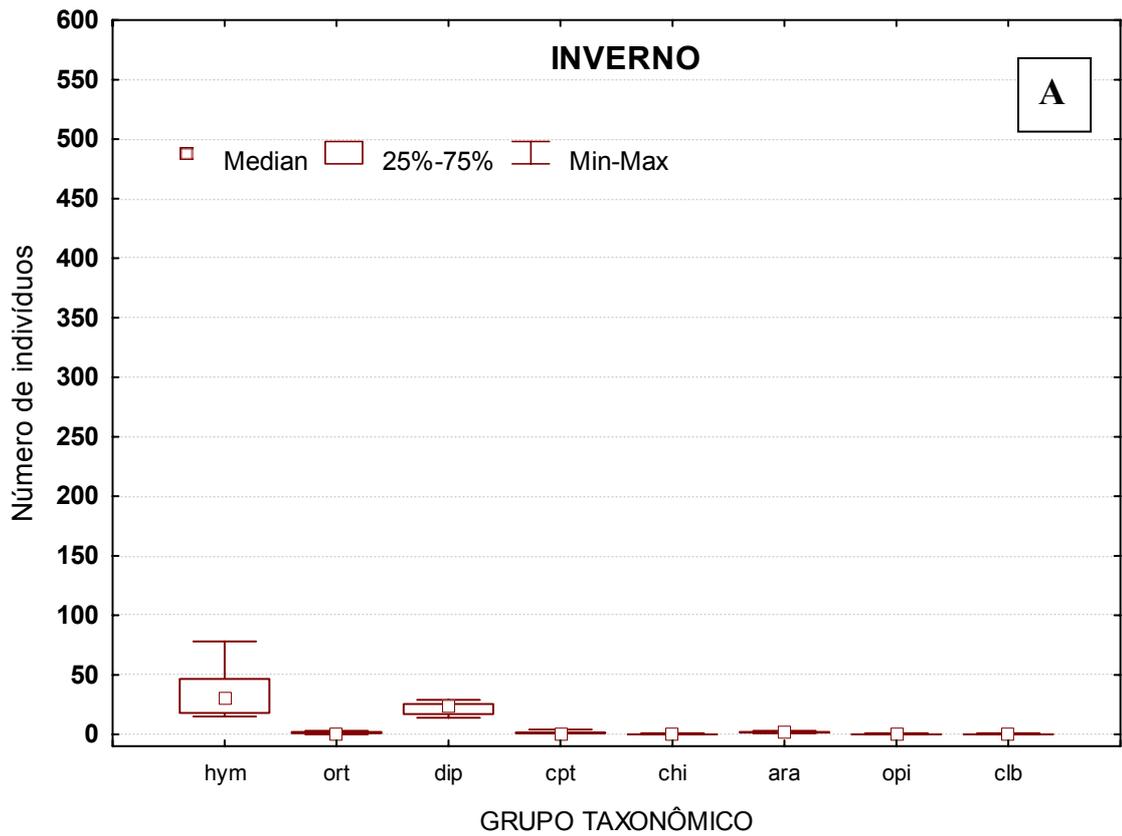


Figura 3.3 – Caracterização de valores médios quanto à descrição dos organismos capturados pelo método PROVID, onde: hym=Hymenoptera; ort=Orthoptera; dip=Díptera; cpt=Coleóptera; hem=Hemíptera; ara=Araneae; lep=Lepidóptera; clb=Collembola; opi=Opiliones; chi= Chilopoda e lar=Larvas, em coletas realizadas no inverno/2006 (A) e primavera/2006 (B). Santa Maria (RS).

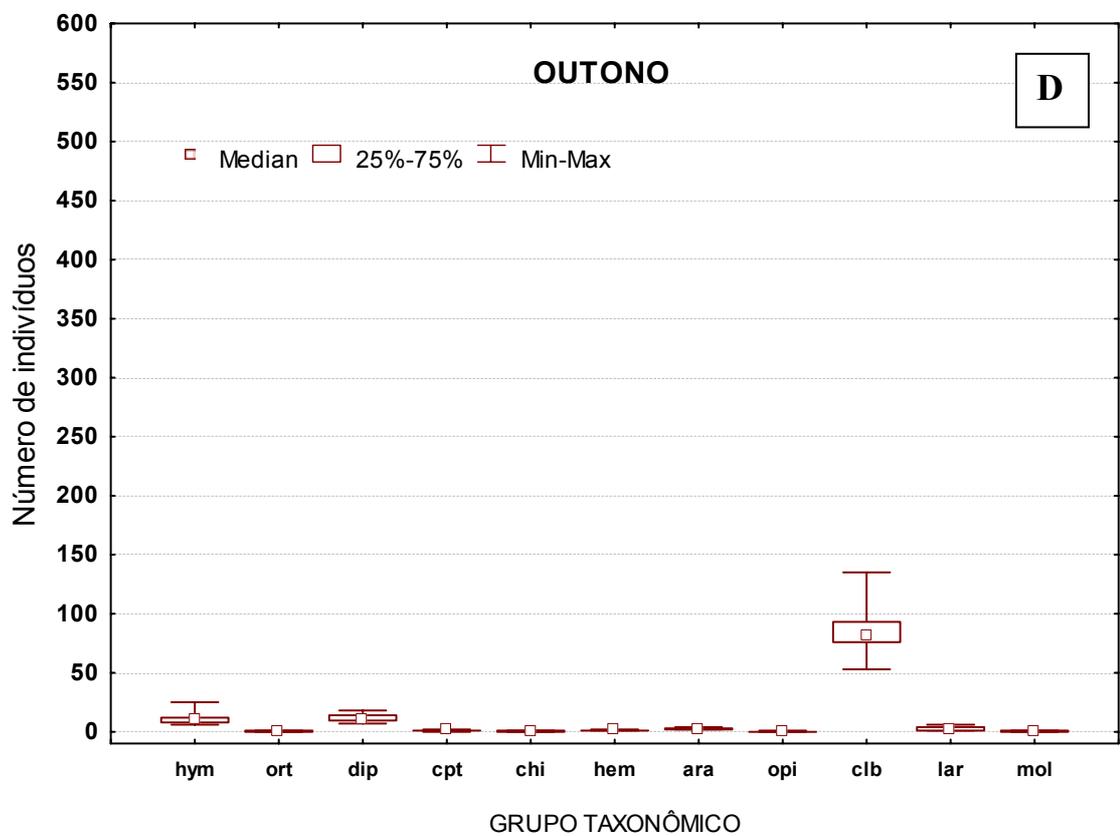
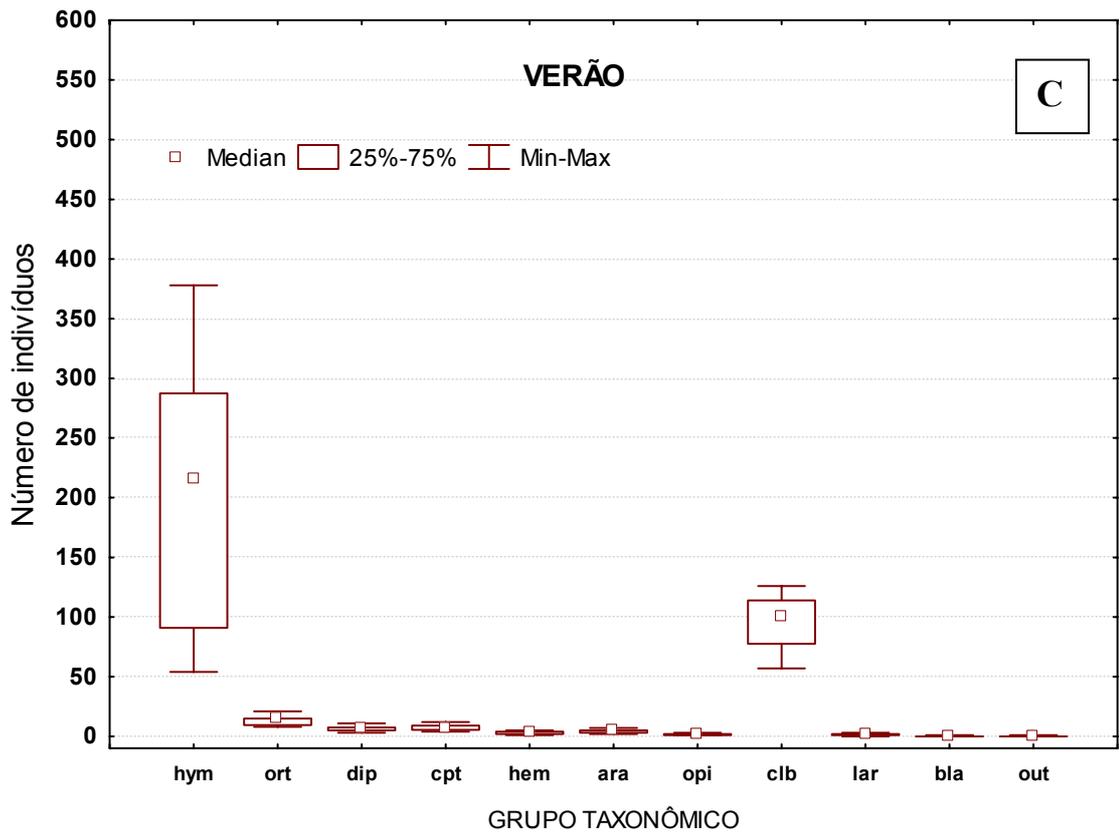


Figura 3.3 – *Continuação...* Caracterização de valores médios quanto à descrição dos organismos capturados pelo método PROVID, onde: hym=Hymenoptera; ort=Orthoptera; dip=Díptera; cpt=Coleóptera; hem=Hemiptera; ara=Araneae; lep=Lepidóptera; clb=Collembola; opi=Opiliones; chi= Chilopoda; bla=Blattaria; lar=Larvas; mol=Mollusca e out=outros, em coletas realizadas no verão/2007 (C) e outono/2007 (D). Santa Maria (RS).

Independente do possível efeito da aplicação de diferentes herbicidas e, ainda, diferentes intensidades de aplicação dos mesmos, observa-se que para formigas (*hym*), estabeleceu-se uma clara definição da distribuição temporal durante as coletas. Os picos populacionais ocorreram nos meses mais quentes, representados pela época de primavera e verão (Figura 3.4).

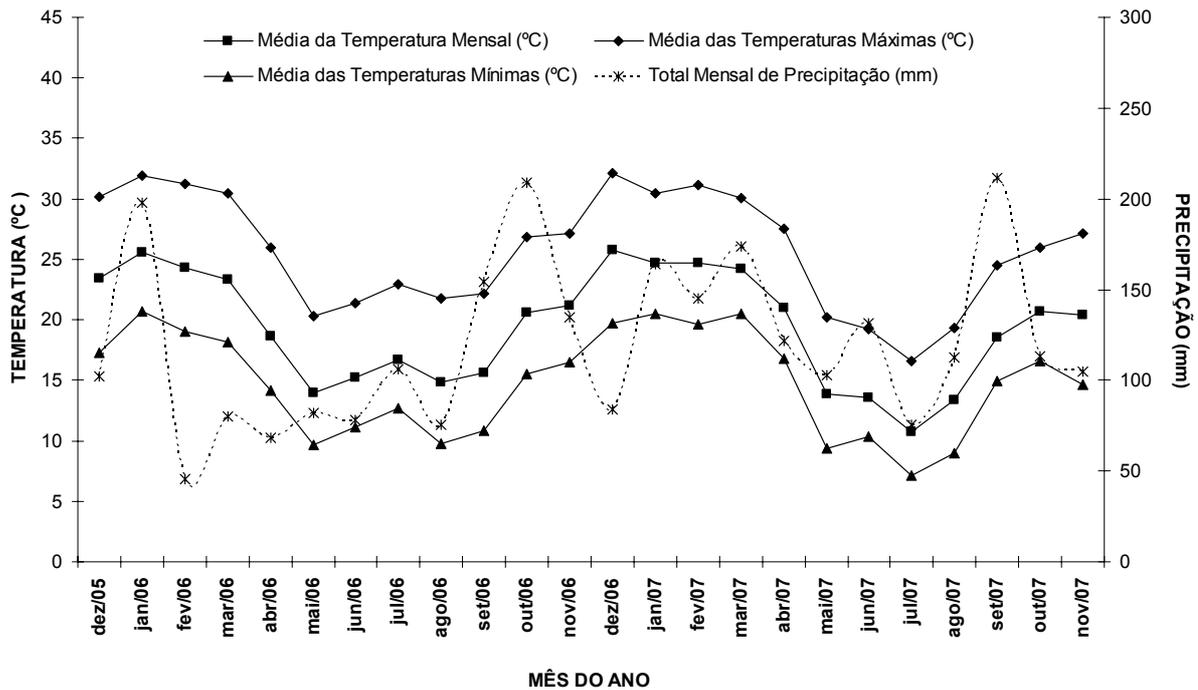


Figura 3.4 – Média mensal de temperaturas (mínima, média e máxima, em °C) e total mensal de precipitação (mm), registrados no período de dezembro/2005 a novembro/2007, pela Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria (RS).

Na coleta de outono, esses organismos foram pouco presentes nos levantamentos, aumentando já na próxima coleta (inverno), como mostram as Figuras 3.3 D e 3.3 A, respectivamente. Comportamento semelhante foi constatado para o grupo *clb* (colêmbolos). Praticamente ausente no levantamento da fauna durante o inverno, foi o organismo mais representativo na época da primavera, com redução dos níveis populacionais durante o verão. Ficou clara a definição do pico populacional deste grupo taxonômico entre outono e verão. Os demais grupos taxonômicos não expressaram relevância quanto a sua frequência diferenciada por época estacional.

Foram verificadas, inicialmente, através de Análise Fatorial, as relações entre as variáveis, com base no coeficiente de correlação linear 0,7, definindo, deste modo, o grau de associação entre cada par de variáveis. Com base na matriz de correlação, apresentada na

Tabela 3.4, é possível observar que não existe um número representativo de valores superiores a 0,7 na coleta realizada no período do inverno, o que significa que a correlação entre as variáveis é moderada.

Tabela 3.4 – Resultados da matriz de correlação entre as variáveis analisadas na época de inverno, primavera, verão e outono (Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) – Média de oito pontos amostrais).

Variável	INVERNO							
	hym	ort	dip	cpt	chi	ara	opi	clb
hym	1,00	-0,12	0,15	0,05	-0,24	-0,38	-0,21	0,10
ort		1,00	-0,37	0,34	-0,12	-0,23	-0,12	0,26
dip			1,00	-0,34	0,24	0,42	-0,24	-0,40
cpt				1,00	-0,14	-0,46	-0,14	<b>0,69</b>
chi					1,00	0,42	-0,07	-0,07
ara						1,00	0,02	-0,37
opi							1,00	-0,07
clb								1,00

Variável	PRIMAVERA								
	hym	ort	dip	cpt	hem	ara	lep	clb	lar
hym	1,00	0,27	0,17	0,30	0,35	0,35	0,02	-0,19	0,23
ort		1,00	0,46	0,30	0,19	<b>0,56</b>	-0,24	<b>0,63</b>	0,01
dip			1,00	-0,10	0,24	<b>0,53</b>	-0,19	0,07	-0,13
cpt				1,00	-0,02	0,01	-0,09	0,25	-0,09
hem					1,00	-0,02	-0,02	0,25	<b>0,58</b>
ara						1,00	0,17	0,02	-0,26
lep							1,00	-0,17	0,20
clb								1,00	0,25
lar									1,00

Variável	VERÃO										
	hym	ort	dip	cpt	hem	ara	opi	clb	lar	bla	out
hym	1,00	0,27	-0,40	<b>-0,53</b>	0,20	-0,28	-0,44	0,34	-0,12	0,01	0,23
ort		1,00	-0,10	-0,20	0,31	-0,13	-0,46	-0,01	0,36	-0,11	-0,25
dip			1,00	0,29	-0,20	0,15	<b>0,61</b>	0,02	-0,25	-0,40	-0,15
cpt				1,00	0,28	0,27	0,44	-0,10	0,27	-0,12	-0,34
hem					1,00	-0,15	0,15	-0,16	0,21	-0,03	0,20
ara						1,00	0,10	0,20	0,34	0,11	-0,25
opi							1,00	-0,16	-0,39	-0,21	0,16
clb								1,00	-0,09	0,30	-0,30
lar									1,00	0,16	-0,16
bla										1,00	-0,07
out											1,00

Variável	OUTONO										
	hym	ort	dip	cpt	chi	hem	ara	opi	clb	lar	mol
hym	1,00	0,30	-0,05	-0,25	-0,19	-0,15	0,11	0,02	0,01	-0,10	-0,18
ort		1,00	0,26	-0,42	-0,05	-0,23	0,01	-0,23	0,35	0,01	-0,02
dip			1,00	-0,32	<b>-0,51</b>	-0,14	0,08	-0,40	-0,41	0,48	<b>0,55</b>
cpt				1,00	0,22	-0,04	-0,32	<b>0,56</b>	0,30	0,04	-0,13
chi					1,00	-0,17	<b>-0,54</b>	0,38	<b>0,59</b>	0,11	-0,32
hem						1,00	<b>0,53</b>	-0,07	-0,08	-0,10	-0,23
ara							1,00	-0,21	-0,17	-0,42	-0,17
opi								1,00	0,36	0,25	-0,23
clb									1,00	-0,20	-0,44
lar										1,00	<b>0,51</b>
mol											1,00

Somente os grupos taxonômicos *cpt* e *clb* (coleópteros e colêmbolos) correlacionaram-se significativamente, embora no limite pré-determinado para esta ligação (valor representado em vermelho). Assim, entende-se que as variáveis estão pouco interligadas umas com as outras, ou seja, os organismos capturados não dependem da diversidade de frequência de outros neste período estacional (inverno).

Nas demais épocas de coleta da fauna edáfica (verão, primavera e outono), essas correlações mantiveram-se no mesmo patamar verificado no período do inverno, com valores também inferiores a 0,7. Contudo, apesar de correlações moderadas terem sido constatadas, houve uma maior interdependência dos grupos taxonômicos. Na primavera, aranhas correlacionaram-se com ortópteros e dípteros (0,56 e 0,53, respectivamente). Ainda, ortópteros correlacionaram-se com colêmbolos (0,63). No outono, os grupos taxonômicos estiveram mais correlacionados entre si, como mostra a Tabela 3.4. Moluscos e quilópodos correlacionaram-se com mais de um grupo (dípteros e larvas em geral; e aranhas e colêmbolos, respectivamente).

De modo geral, as correlações existentes entre os organismos capturados foram consideradas moderadas, para todas as épocas de coleta.

Para todas as épocas de amostragem da fauna edáfica, a Tabela 3.5 mostra o resultado dos autovalores, bem como a percentagem de variância explicada pelos quatro (4) primeiros componentes principais, que sintetizam, por fim, a variância acumulada.

O critério para definição do número de componentes foi o método gráfico, proposto por Cattell (1966). A partir das variáveis iniciais, procedeu-se com a redução dimensional aos quatro primeiros autovalores, representando valores iguais ou superiores a 70,0% da variância total observada entre os dados originais. Os demais componentes (demais variáveis) não fizeram parte do modelo, pois resultaram em pouca informação com relação à variância total.

Observa-se que apenas os dois primeiros componentes resultaram em uma explicação em torno de 50,0% da variabilidade total acumulada obtida com o levantamento de organismos do solo, em todas as épocas de coleta (Tabela 3.5).

Adotando-se os quatro primeiros componentes por explicarem mais de 70% da variância total, a Tabela 3.6 mostra a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais, assim como a contribuição de cada grupo taxonômico em relação a cada fator.

Tabela 3.5 – Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas na época do inverno, primavera, verão e outono.

Número de componentes	Autovalores			
	Extração dos Componentes Principais			
	Autovalor	% da variância explicada	Autovalores acumulados	% da variância explicada acumulada
<b>INVERNO</b>				
1	<b>2,71</b>	33,93	2,71	<b>33,93</b>
2	<b>1,46</b>	18,25	4,17	<b>52,18</b>
3	<b>1,25</b>	15,68	5,43	<b>67,86</b>
4	<b>0,88</b>	10,98	6,31	<b>78,84</b>
<b>PRIMAVERA</b>				
1	<b>2,50</b>	27,75	2,50	<b>27,75</b>
2	<b>1,80</b>	19,97	4,30	<b>47,72</b>
3	<b>1,49</b>	16,55	5,78	<b>64,27</b>
4	<b>1,19</b>	13,26	6,98	<b>77,53</b>
<b>VERÃO</b>				
1	<b>2,77</b>	25,22	2,77	<b>25,22</b>
2	<b>2,02</b>	18,38	4,80	<b>43,60</b>
3	<b>1,70</b>	15,43	6,49	<b>59,03</b>
4	<b>1,29</b>	11,70	7,78	<b>70,73</b>
<b>OUTONO</b>				
1	<b>3,10</b>	28,20	3,10	<b>28,20</b>
2	<b>2,27</b>	20,66	5,37	<b>48,86</b>
3	<b>1,78</b>	16,19	7,16	<b>65,05</b>
4	<b>1,01</b>	9,20	8,17	<b>74,25</b>

Analisando a contribuição de cada grupo taxonômico no componente principal para o período do inverno (Tabela 3.5), o Fator 1 é o mais importante neste caso, pois explica 33,93% da variância. Assim, certifica-se que os grupos que mais contribuem para explicar este fator são *cpt* (0,787875), *clb* (0,746277) e *ara* (-0,756913) e, no Fator 2, *hym* (-0,828568), como mostra a Tabela 3.6. A contribuição de cada variável permite uma análise da relação existente entre as duas componentes principais (Fator 1 x Fator 2), uma vez que ambas explicam, conjuntamente, mais da metade (52,18%) da variabilidade total.

Considerando-se que a seleção dos quatro primeiros componentes, para todas as épocas de coleta, representam mais de 70,0% da variância total, observa-se que no verão somente o grupo *ort* contribuiu significativamente para o Fator 1 (27,75%) se comparado com o Fator 2 (19,98%), que mostrou dois grupos taxonômicos que contribuíram (*hem* e *lar*) para a variância explicada de 77,53% (Tabela 3.5), referente aos quatro componentes selecionados.

Tabela 3.6 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores na análise da fauna epiedáfica coletada nas épocas de inverno, primavera, verão e outono.

Variável	Contribuição da variável no Componente Principal (>0,7)*			
	Fator1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
<b>INVERNO</b>				
<b>hym</b>	0,201476	<b>-0,848568</b>	-0,098638	0,137949
<b>ort</b>	0,537585	0,300118	0,220472	-0,634192
<b>dip</b>	-0,666603	-0,446283	0,290903	0,039266
<b>cpt</b>	<b>0,787875</b>	0,057163	0,341815	0,226433
<b>chi</b>	-0,432316	0,316447	0,592635	0,321908
<b>ara</b>	<b>-0,756913</b>	0,316157	0,254821	-0,018839
<b>opi</b>	-0,055650	0,488097	-0,691610	0,363438
<b>clb</b>	<b>0,746277</b>	0,094291	0,316980	0,410094
<i>Proporção da variância</i>	0,339317	0,182475	0,156844	0,109786
<b>PRIMAVERA</b>				
<b>hym</b>	0,495878	-0,172579	-0,525830	-0,518054
<b>ort</b>	<b>0,893509</b>	0,131409	0,247707	0,013568
<b>dip</b>	0,639193	0,311934	-0,245405	0,437481
<b>cpt</b>	0,323050	0,008905	0,345902	<b>-0,804865</b>
<b>hem</b>	0,454350	<b>-0,703623</b>	-0,198772	0,191863
<b>ara</b>	0,627851	0,493939	-0,433608	0,028412
<b>lep</b>	-0,210371	-0,166363	-0,531727	-0,129372
<b>clb</b>	0,527682	-0,269453	0,666904	0,154380
<b>lar</b>	0,130063	<b>-0,902181</b>	-0,128273	0,088059
<i>Proporção da variância</i>	0,277493	0,199745	0,165467	0,132634
<b>VERÃO</b>				
<b>hym</b>	<b>0,749982</b>	-0,288453	0,058936	0,164787
<b>ort</b>	0,489121	0,308398	-0,420597	0,568158
<b>dip</b>	<b>-0,735028</b>	-0,104961	0,111780	0,478467
<b>cpt</b>	-0,666349	0,440545	-0,316205	-0,107144
<b>hem</b>	0,118691	0,017429	<b>-0,751931</b>	-0,154432
<b>ara</b>	-0,309623	0,602329	0,248712	-0,152664
<b>opi</b>	<b>-0,826225</b>	-0,319540	-0,071156	-0,116557
<b>clb</b>	0,216249	0,244014	0,650784	0,158031
<b>lar</b>	0,192126	<b>0,744676</b>	-0,401652	-0,160308
<b>bla</b>	0,306137	0,317791	0,357944	-0,618677
<b>out</b>	0,134213	-0,676647	-0,243638	-0,450107
<i>Proporção da variância</i>	0,252183	0,183777	0,154319	0,117013
<b>OUTONO</b>				
<b>hym</b>	-0,105416	0,265504	-0,519816	<b>0,728154</b>
<b>ort</b>	-0,199915	0,070333	<b>-0,846194</b>	-0,130088
<b>dip</b>	<b>-0,765828</b>	-0,388495	-0,093349	-0,034615
<b>cpt</b>	0,627709	-0,255587	0,424197	0,205249
<b>chi</b>	<b>0,773609</b>	-0,233555	-0,205080	-0,331789
<b>hem</b>	-0,072368	0,524566	0,526067	-0,152427
<b>ara</b>	-0,397065	<b>0,743549</b>	0,220294	0,082186
<b>opi</b>	0,679663	-0,225078	0,165574	0,470052
<b>clb</b>	<b>0,707324</b>	0,122345	-0,437767	-0,209725
<b>lar</b>	-0,159092	<b>-0,795166</b>	0,060445	0,121784
<b>mol</b>	-0,566777	-0,633013	0,124928	-0,038684
<i>Proporção da variância</i>	0,281977	0,206627	0,161869	0,091981

\* Valores grifados maiores que 0,7.

Entretanto, para a coleta de verão, os grupos *hym*, *dip* e *opi* foram os que mais contribuíram para a formação do Fator 1, que explicou 25,22% da variância acumulada entre

os quatro fatores (70,73%). Comportamento semelhante foi verificado no outono, em que 74,25% da variância explicada pelos quatro fatores, os grupos *dip*, *chi* e *clb* contribuíram, para o Fator 1, com 28,2% (Tabela 3.6) do total dessa variância.

Os valores expressos na Tabela 3.7 revelam a contribuição de cada tratamento para com os fatores 1, 2, 3 e 4 quanto à direção dos eixos de máxima variabilidade (autovetores). Essa direção indica uma possível associação quando próxima dos grupos taxonômicos no plano fatorial da ACP.

Os autovetores formados representam o efeito da aplicação de diferentes tratamentos e intensidade de aplicação (no caso dos herbicidas) ao longo do período de avaliação da fauna do solo. Cada um dos diferentes herbicidas (Glyphosate, Imazapyr, Oxyfluorfen e Pendimethalin), assim como o tratamento de roçada manual (R) foram executados 2, 3 e 4 vezes neste período. Todos comparados com a testemunha absoluta (T).

De modo geral, a maior contribuição dos grupos taxonômicos para com os quatro fatores explicativos da variância total residiram nos fatores 1 e 2, sobre os quais são apresentados os resultados nas Figuras 3.5 a 3.8.

Para que haja uma melhor visualização dos fatores selecionados na análise, são apresentados os gráficos de dispersão (planos fatoriais), que mostram a localização das variáveis (grupos taxonômicos e tratamentos empregados no estudo) no sistema de coordenadas criados pelos fatores 1 e 2 (Componentes Principais no plano fatorial 1 x 2), pois são eles os que explicam maior parte da variabilidade total existente.

Tabela 3.7 – Proporção de variação de cada tratamento utilizado (herbicida x aplicação) na composição dos autovetores em cada componente principal no estudo da fauna epiedáfica, na coleta de inverno, primavera, verão e outono.

Variável	Autovetores*			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
	<b>INVERNO</b>			
G A2	-0,76698	0,04649	-0,07761	-0,20840
G A3	-2,67104	1,43377	2,48941	1,13131
G A4	0,48484	-0,28651	0,37816	0,39626
I A2	4,61083	0,42722	1,33150	1,44123
I A3	0,26649	0,88031	-0,16449	-1,22072
I A4	0,09077	-2,45782	-0,55594	0,25123
O A2	0,00081	-1,14434	-0,59267	0,08363
O A3	-0,56914	-0,88498	-0,79543	0,91636
O A4	-0,34383	2,21148	-2,90517	1,27726
P A2	-1,55271	0,52772	0,32995	-0,26525
P A3	-0,79067	0,18252	-0,06055	-0,23691
P A4	-1,77444	-0,34472	0,46440	-0,11070
R 2	0,04473	-1,12043	-0,51018	-0,01492
R 3	0,93843	1,10818	-0,02255	-2,14142
R 4	0,05484	-1,44998	0,58457	-0,55687
T	1,97706	0,87110	0,10658	-0,74209

Tabela 3.7 – *Continuação...* Proporção de variação de cada tratamento utilizado (herbicida x aplicação) na composição dos autovetores em cada componente principal no estudo da fauna epiedáfica, na coleta de inverno, primavera, verão e outono.

Variável	Autovetores*			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
<b>PRIMAVERA</b>				
G A2	-0,78188	0,65916	0,62080	-0,66840
G A3	0,06944	-0,54814	-1,54396	0,13266
G A4	-0,44650	2,10091	-1,04906	0,12289
I A2	-0,30475	2,14806	-0,38829	0,55511
I A3	0,13404	1,12921	-0,07842	-0,25369
I A4	0,47281	-1,21117	0,56804	1,16622
O A2	-0,33963	-1,20717	2,15018	-1,48439
O A3	-1,24671	-0,83646	-2,43331	-0,53006
O A4	-1,06028	-2,14117	0,30031	1,51322
P A2	-1,82613	-0,53414	0,73621	-0,31591
P A3	-1,55941	0,95186	0,78003	-0,48433
P A4	1,27957	-0,84675	-1,97779	-1,53670
R 2	3,47758	-1,03224	0,63675	-1,38465
R 3	1,41693	2,08304	1,28896	0,00684
R 4	2,78203	-0,08310	-0,07859	2,38981
T	-2,06713	-0,63187	0,46815	0,77139
<b>VERÃO</b>				
G A2	-0,63874	0,03565	0,21892	0,69351
G A3	1,74058	-0,18157	-1,53237	0,38180
G A4	1,86055	-0,18962	1,14186	1,30041
I A2	-3,97002	-0,12133	0,94470	0,09870
I A3	-0,54763	2,40994	-1,30230	-0,67013
I A4	0,61402	2,01441	-1,33074	0,71192
O A2	0,00919	0,19558	0,70724	0,66799
O A3	-2,46918	-0,07096	-1,21105	-1,40887
O A4	-0,37733	-0,76348	1,30343	-0,02753
P A2	1,26009	-0,07538	-1,11769	0,03016
P A3	-1,65064	-0,45910	1,60399	0,28633
P A4	0,48917	1,17109	0,44255	0,13969
R 2	1,62479	-1,31467	1,39165	0,89856
R 3	-0,69519	-0,73721	-1,81867	1,44457
R 4	1,91206	1,69440	1,74885	-2,63213
T	0,83826	-3,60774	-1,19037	-1,91496
<b>OUTONO</b>				
G A2	-0,22608	2,01754	-2,02513	2,20251
G A3	4,48878	-1,27249	0,82852	1,77306
G A4	-1,37972	-0,53873	-0,49300	-0,50233
I A2	-0,44425	1,83778	0,48520	0,25807
I A3	-0,95232	0,20383	1,34819	-0,42464
I A4	0,96717	-0,92475	-1,17986	-1,57372
O A2	-1,55554	1,45750	-1,41150	0,30671
O A3	1,21237	0,20804	0,07647	-0,85546
O A4	1,29399	0,17221	1,51733	-0,09590
P A2	-2,28394	-2,54085	0,74762	1,03780
P A3	2,41286	0,87279	-2,20457	-1,14127
P A4	-0,83311	-0,97709	0,52755	0,48675
R 2	-1,67243	-0,51532	-0,44624	-0,04642
R 3	0,70228	-1,41200	0,51440	-0,59909
R 4	-0,47795	2,96566	2,63239	-0,57496
T	-1,25211	-1,55413	-0,91739	-0,25111

\* Direção dos eixos de máxima variabilidade. G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin; R=roçada manual; T=testemunha; A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações.

Analisando-se a Figura 3.5, observa-se que, no inverno, o tratamento com o herbicida Imazapyr (duas aplicações – IA2) ficou separado dos demais tratamentos e caracterizou-se por apresentar uma similaridade com os grupos taxonômicos *clb* e *cpt*, como mostram os dois círculos em linha cheia. Essa proximidade pode explicar alguma relação entre o comportamento desses organismos com o tipo de herbicida, porém não se pode inferir, a priori, se a intensidade de aplicações desse tipo de herbicida está influenciando o comportamento desses organismos. Contudo, colêmbolos e coleópteros mostram uma grande movimentação no solo e na parte aérea de plantas infestantes, o que pode ter ocasionado o contato direto com moléculas do herbicida durante as duas aplicações. Nessa mesma época de coleta, o grupo *hym* (formigas) mostrou-se também próximo ao herbicida Imazapyr, porém com quatro aplicações (círculo pontilhado). São organismos de alta mobilidade no solo e podem ter sido mais susceptíveis às aplicações dessa molécula química no solo, assim como coleópteros e colêmbolos. Analisando-se sob outra ótica, esses organismos podem ter sido afetados não pela aplicação de herbicidas, mas pela alteração na liteira do solo, uma vez que os herbicidas alteraram a composição e a biomassa da cobertura vegetal existente na área. Para Eaton et al. (2004), intervenções no solo ligados ao conteúdo de matéria orgânica desse, seja remoção ou adição, podem alterar a comunidade de organismos sensíveis a alterações no microclima local (temperatura e umidade) e, dentre esses organismos menciona-se, a população de colêmbolos.

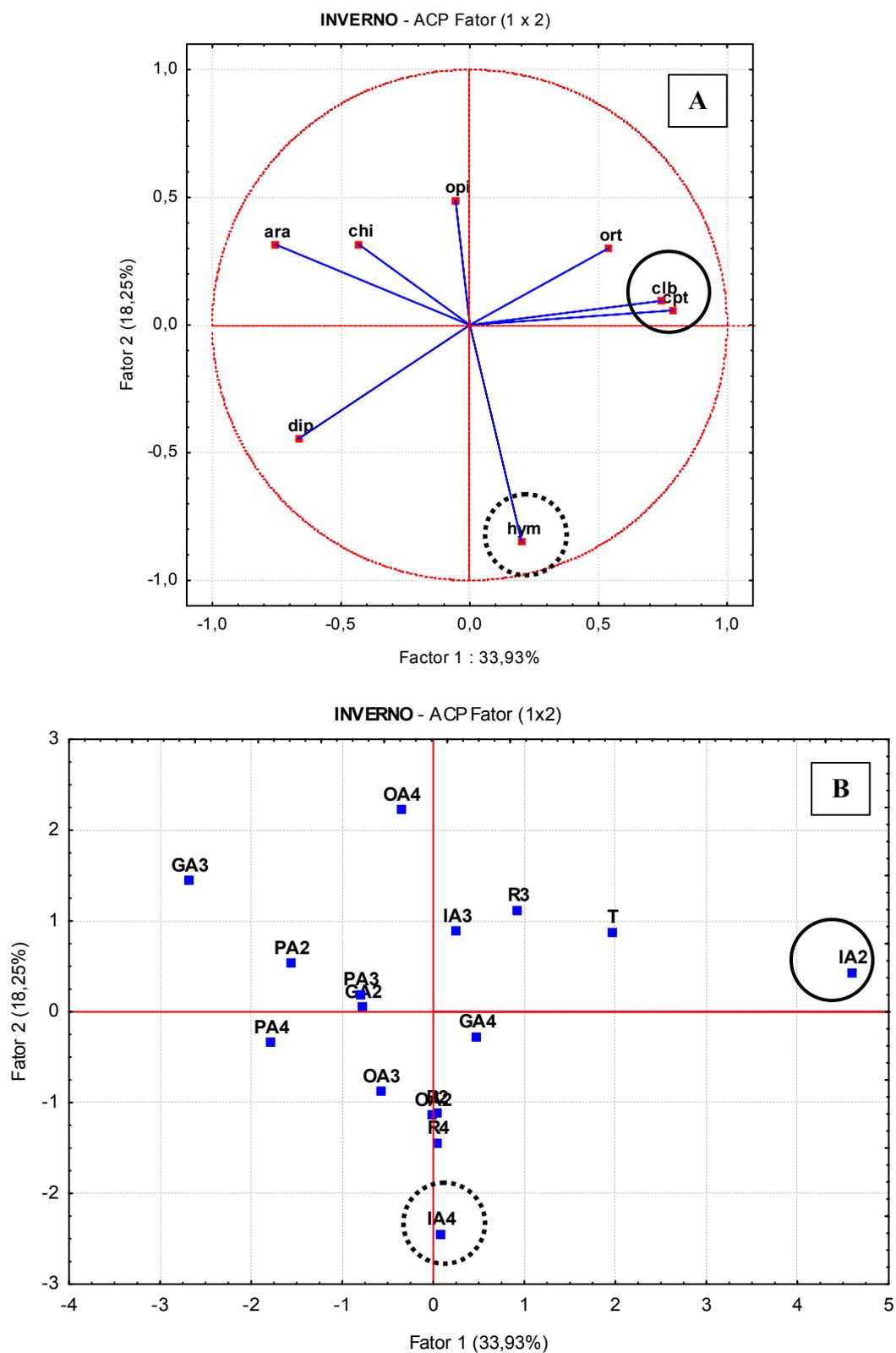


Figura 3.5 – INVERNO: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (A); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (B). Santa Maria (RS).

Na primavera (Figura 3.6), aranhas (*ara*), dípteros (*dip*) e ortópteros (*ort*) ficaram próximos dos tratamentos cujo procedimento foi a roçada manual (elipse com linha inteira), enquanto que formigas (*hym*) e colêmbolos (*clb*) estiveram associados à aplicação do herbicida Pendimethalin aplicado quatro vezes no período de avaliação (elipse pontilhada).

No verão, não houve separação dos organismos significativamente evidenciada (Figura 3.7). Alguma relação entre os tratamentos e os atributos da fauna epiedáfica pode ser observada (elipse na cor verde) entre os grupos *dip* e *opi* (dípteros e opiliões) com o herbicida Imazapyr (duas aplicações). O grupo classificado como *out* (outros) assumiu graficamente uma similaridade com a testemunha absoluta (círculo com linha inteira), onde não houve nenhum tipo de intervenção na área. Já para a época de outono (Figura 3.8), os grupos taxonômicos *opi*, *chi* e *cpt* (opiliões, centopéias e coleópteros, respectivamente) podem ter sido influenciados pela aplicação do herbicida Glyphosate.

Ao comparar o resultado da Análise de Componentes Principais (ACP) nas quatro estações do ano, constatou-se não haver evidência clara na separação das variáveis no que diz respeito aos tratamentos com diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas e as variáveis respostas (grupos taxonômicos presentes no local). Entretanto, houve distinção para a densidade de organismos coletados dentro de cada um dos grupos taxonômicos e entre as estações de inverno, primavera, verão e outono, comprovada pelo índice de diversidade de Shannon e riqueza dos grupos. Assim, a associação da maioria dos atributos da meso e macrofauna com a efetiva aplicação dos herbicidas pode ser melhor explicada pela ação do ingrediente ativo de cada herbicida no controle da matocompetição existente na área, alterando esta composição vegetal e, por conseguinte, componentes biológicos e químicos no solo. Esse fato vem ao encontro das considerações feitas por Renaud et al. (2004) que, analisando a comunidade de colêmbolos em solos tratados com herbicidas de ação pós-emergente, concluíram não haver efeito significativo sobre os parâmetros abundância, diversidade e riqueza de espécies nessa comunidade.

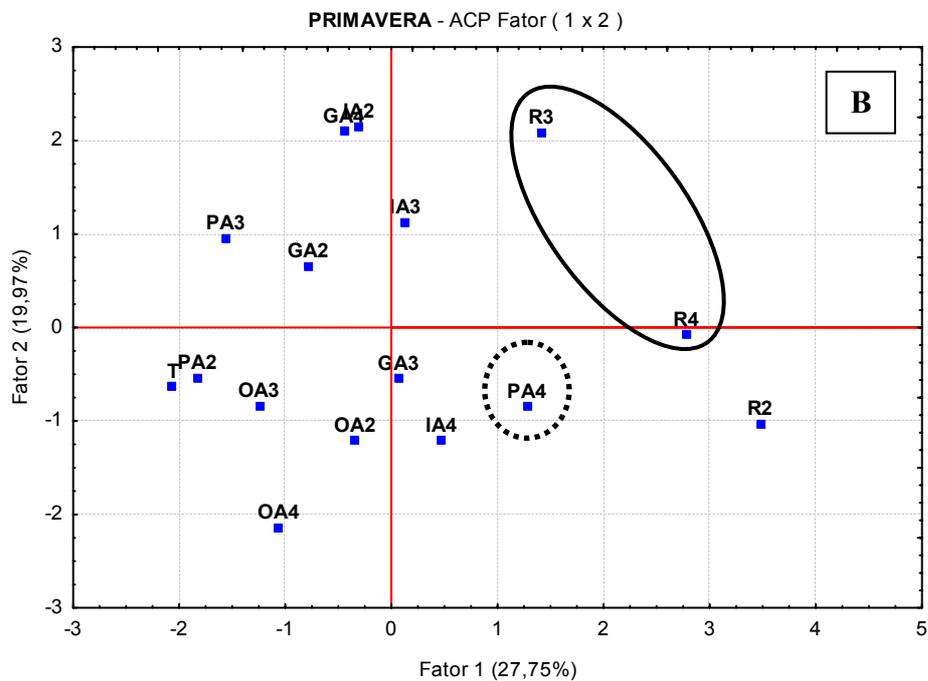
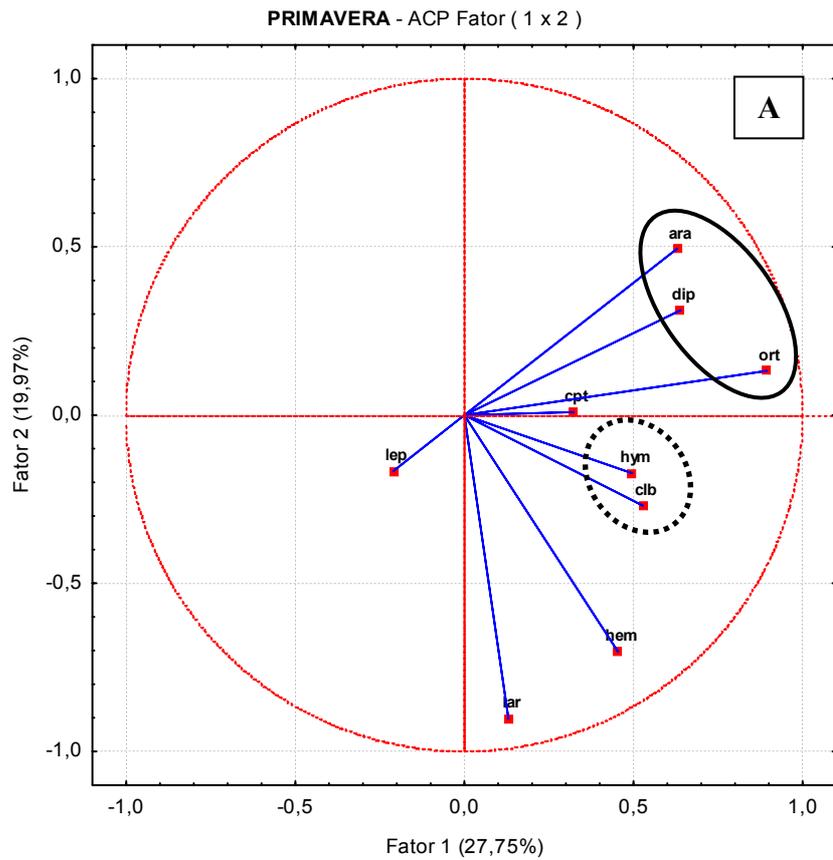


Figura 3.6 – PRIMAVERA: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (A); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (B). Santa Maria (RS).

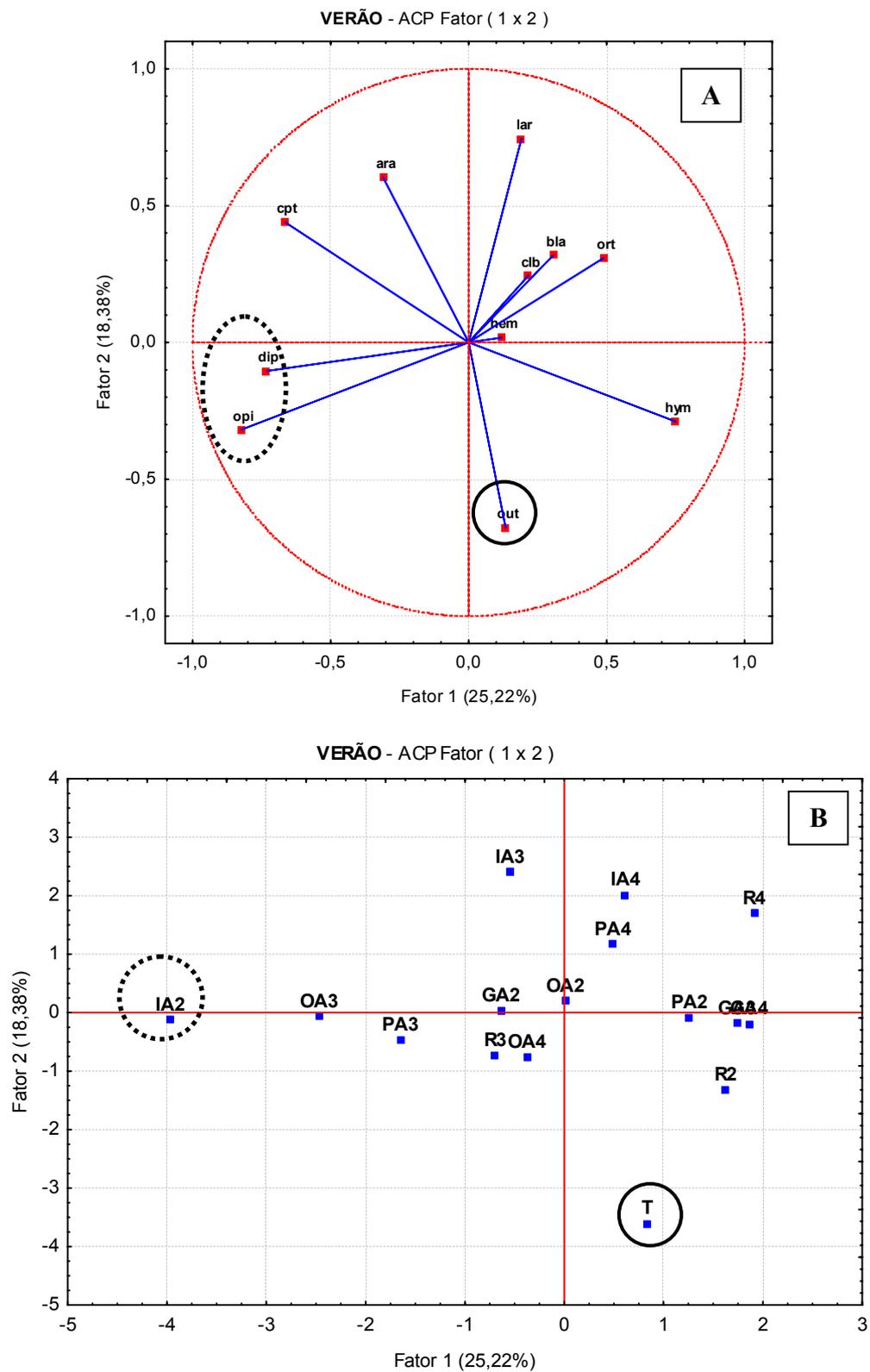


Figura 3.7 – VERÃO: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (A); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (B). Santa Maria (RS).

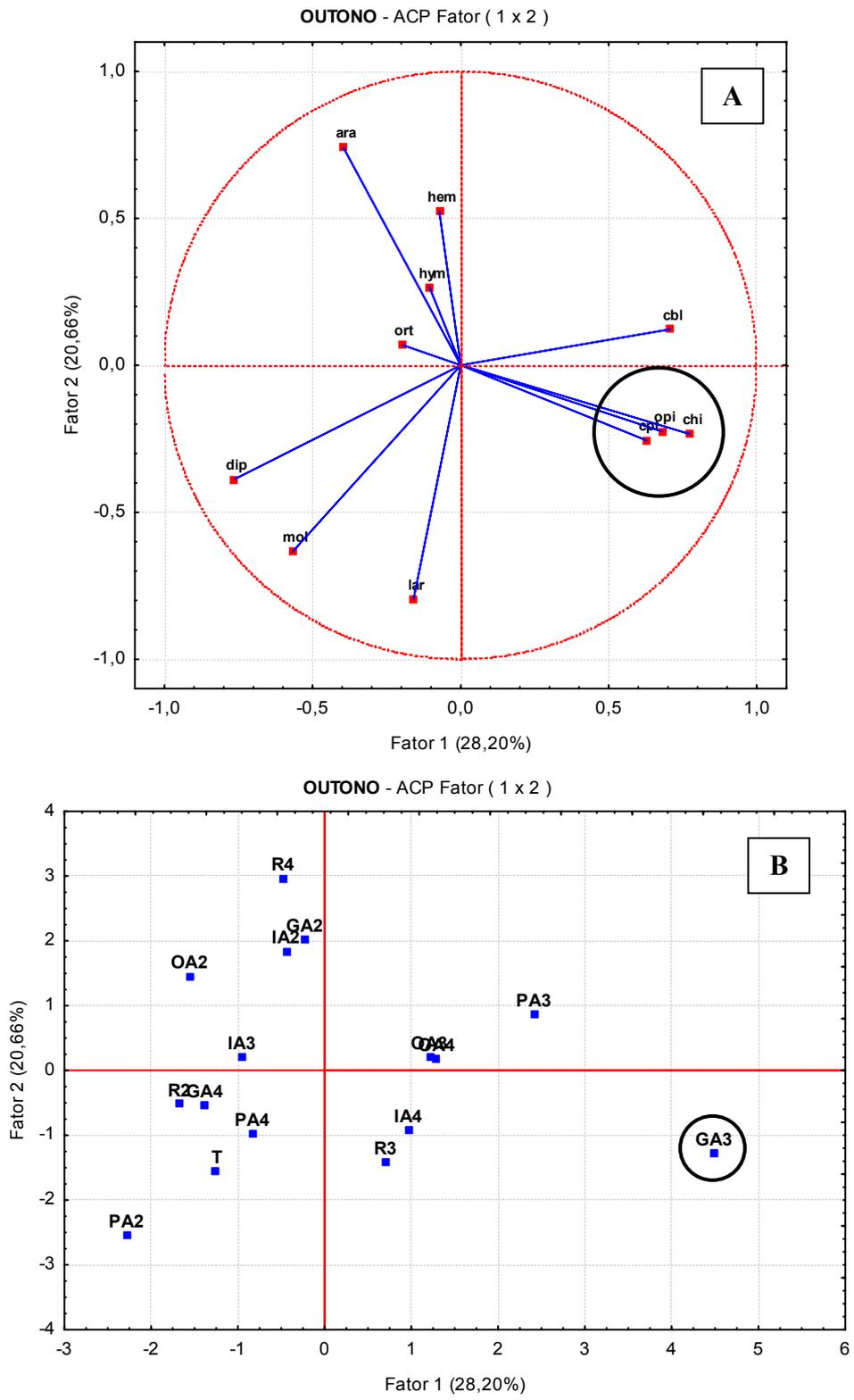


Figura 3.8 – OUTONO: Relação entre as componentes principais 1 e 2 da análise de componentes principais (ACP), discriminando os atributos da meso e macrofauna epiedáfica (A); e a aplicação de herbicidas (G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin), com diferentes intensidades de aplicação (A2=duas aplicações; A3=três aplicações e A4=quatro aplicações), R=roçada manual (2, 3 e 4 vezes) e T=testemunha, representados pela letra (B). Santa Maria (RS).

### 3.3.3 Grupos taxonômicos mais representativos – ACP com variáveis suplementares

O atributo intensidade de aplicação de herbicidas nesta análise foi estabelecido em quatro aplicações, por se tratar da mais alta intensidade de intervenção antrópica com herbicidas na área experimental (controle da matocompetição), presumindo-se, caso houvesse, uma influência em maior grau sobre os quatro grupos mais representativos (maior densidade de organismos) da meso e macrofauna epiedáfica no local de plantio de acácia-negra.

Analisando-se a variação temporal compreendida entre o inverno de 2006 e outono de 2007, a descrição das observações acerca dos grupos mais representativos mostra uma maior densidade de organismos no grupo *clb* (Collembola), seguido por *hym* (Hymenoptera). Os grupos *ort* e *ara* apresentaram a menor densidade de organismos verificada entre todas as estações do ano (Figura 3.9). Esses resultados revelam, sobretudo na condição de quatro aplicações dos herbicidas durante o ano, que os grupos funcionais descritos como formigas e colêmbolos foram os grupos com a maior densidade de organismos durante todos os levantamentos realizados, exceto na estação de inverno, onde o grupo *dip* apresentou a segunda maior densidade (Figura 3.3 A).

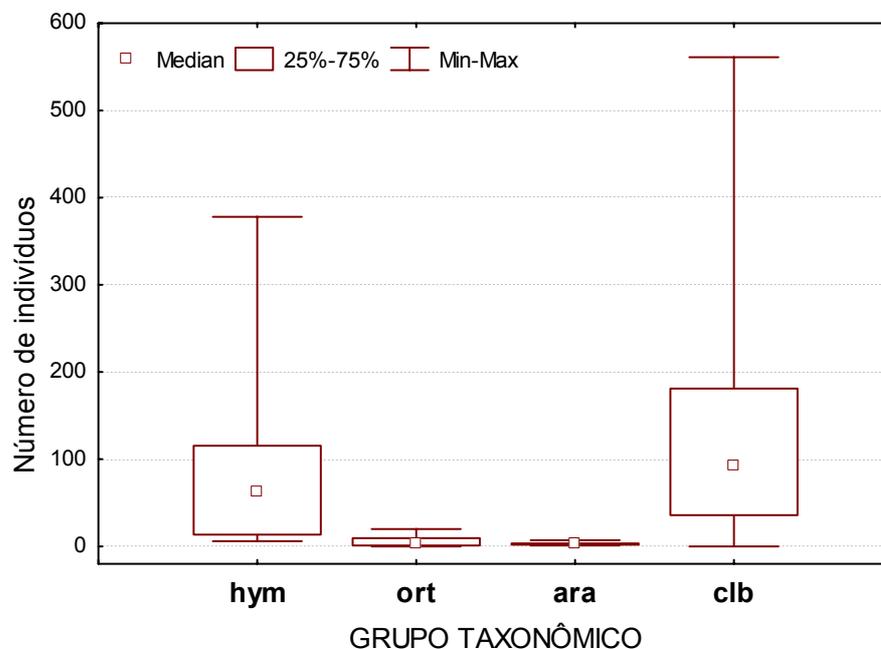


Figura 3.9 – Caracterização de valores médios quanto à descrição dos quatro grupos taxonômicos mais representativos capturados pelo método PROVID, onde: *hym*=Hymenoptera; *ort*=Orthoptera; *ara*=Araneae; e *clb*=Collembola; nas unidades experimentais submetidas a quatro aplicações de herbicidas, em coletas compreendidas entre o inverno e primavera/2006; e verão e outono/2007. Santa Maria (RS).

A matriz de correlação, quando analisada somente entre os grupos taxonômicos, mostra não haver efeito significativo de um grupo sobre outro, uma vez que os valores observados para essa correlação foram inferiores a 0,7 (Tabela 3.8). Essas correlações foram, de modo geral, consideradas moderadas, assim como na análise anterior, em que todos os grupos identificados no estudo foram analisados independentemente. A maior correlação observada foi entre o grupo *ort* e o grupo *hym* (0,69). Observa-se, ainda, que o grupo *clb* não correlacionou-se com nenhum dos demais grupos. Entretanto, o grupo *clb* esteve altamente correlacionado (0,89) com a variável *PP* (precipitação média mensal, considerada como variável suplementar ou explicativa).

Exceto para o grupo dos colêmbolos, a temperatura ( $T^{\circ}C$ ) pode, igualmente como a precipitação (*PP*), ser considerada uma boa variável explicativa neste estudo, pois esteve correlacionada com os demais três grupos avaliados, apresentando valores crescentes de inter-relação de 0,52; 0,72 e 0,89 para os grupos *ara*; *hym* e *ort*, respectivamente (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 – Matriz de correlação outono (Correlação de Pearson;  $p < 0,05$  – Média de oito pontos amostrais) entre as variáveis analisadas (quatro grupos mais representativos) e variáveis ambientais (explicativas), submetidas a quatro aplicações de herbicidas, na época de inverno e primavera (2006) e verão e outono (2007).

Variável	Variáveis originais e Variáveis ambientais					
	<i>hym</i>	<i>ort</i>	<i>ara</i>	<i>clb</i>	$T^{\circ}C$	<i>PP</i>
<i>hym</i>	1,00	<b>0,69</b>	<b>0,57</b>	0,09	<b>0,72</b>	0,37
<i>ort</i>		1,00	<b>0,67</b>	0,23	<b>0,89</b>	0,40
<i>ara</i>			1,00	-0,07	<b>0,52</b>	0,04
<i>clb</i>				1,00	0,31	<b>0,89</b>
$T^{\circ}C$					1,00	<b>0,59</b>
<i>PP</i>						1,00

Onde: *hym*=Hymenoptera; *ort*=Orthoptera; *ara*=Araneae; *clb*=Collembola;  $T^{\circ}C$ =temperatura média mensal na época de coleta; e *PP*=precipitação média mensal na época de coleta.

A Tabela 3.9 mostra os resultados obtidos para os autovalores e a percentagem da variância explicada para cada um dos quatro componentes considerados. Observa-se que somente os dois primeiros componentes (1 e 2) explicam 83,79% da variabilidade total acumulada quando o objeto de análise foi a seleção dos quatro grupos taxonômicos mais representativos no levantamento da meso e macrofauna epiedáfica do presente estudo. Ainda, são apresentados os resultados para os autovetores que explicam a direção dos eixos de máxima variabilidade das variáveis testadas, na intensidade de quatro aplicações dos herbicidas.

Tabela 3.9 – Autovalores e percentual da variância explicada pelas variáveis analisadas (A); e proporção de variação de cada tratamento utilizado (herbicida e quatro aplicações) na composição dos autovetores em cada componente principal (B), na época do inverno, primavera, verão e outono, e para os quatro grupos mais representativos, submetidos a quatro aplicações de herbicidas.

Número de componentes	Autovalores			
	Extração dos Componentes Principais			
	Autovalor	Variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Variância acumulada (%)
<b>1</b>	<b>2,31</b>	57,71	2,31	<b>57,71</b>
<b>2</b>	<b>1,04</b>	26,08	3,35	<b>83,79</b>
<b>3</b>	<b>0,41</b>	10,24	3,76	<b>94,03</b>
<b>4</b>	<b>0,24</b>	5,97	4,00	<b>100,00</b>

Variável	Autovetores (B) *			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
G inv	-1,11881	-0,784825	0,12782	-0,03672
I inv	-1,27761	-0,615185	0,82183	-0,22551
O inv	-1,20946	-0,778229	0,00688	-0,08946
P inv	-0,77873	-0,967657	-0,32428	0,25754
R inv	-0,87431	-0,775841	0,29826	-0,08956
T inv	-1,49136	-0,572854	0,38080	-0,54497
G pri	0,25289	0,475945	-0,00332	0,33554
I pri	-0,39397	2,172718	0,24172	-0,38968
O pri	-0,94831	1,947309	0,02629	-0,16083
P pri	1,52178	0,637673	1,46436	0,92026
R pri	1,11719	2,332743	-1,13034	0,31487
T pri	-0,87986	1,837796	0,29726	0,05987
G ver	3,44071	-0,408810	0,77013	-0,07844
I ver	2,02917	-0,127492	-0,65656	-1,59230
O ver	0,33765	-0,320297	-0,23875	-0,55962
P ver	3,14279	-0,933160	-0,92591	0,49897
R ver	2,02754	-0,475746	-0,32540	0,06828
T ver	1,52388	-0,463578	1,21389	-0,07987
G out	-0,83427	-0,419326	-0,56506	0,32478
I out	-1,20098	-0,162781	-0,17048	0,02815
O out	-1,32243	-0,330250	-0,13092	0,12523
P out	-1,29509	-0,356165	-0,08711	0,13677
R out	-0,58040	-0,688453	-0,95625	0,75194
T out	-1,18802	-0,223536	-0,13486	0,02475

\* Direção dos eixos de máxima variabilidade, onde: G=Glyphosate; I=Imazapyr; O=Oxyfluorfen; P=Pendimethalin; R=roçada manual; T=testemunha; inv=amostragem no inverno; pri=amostragem na primavera; ver=amostragem no verão e out=amostragem no outono.

Os grupos taxonômicos representados por formigas; grilos e gafanhotos; e aranhas são os que mais contribuem para a formação do primeiro fator (Fator 1), explicando 57,7% da variância dos dados originais. O grupo formado por colêmbolos participa fortemente com a formação do segundo fator, e explica cerca de 26,0% da variância dos dados originais, como mostra a Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Proporção de variação da variável que compõe os quatro fatores na análise da meso e macrofauna epiedáfica (quatro grupos mais representativos), com quatro aplicações de herbicidas, coletada nas épocas de inverno e primavera de 2006; e verão e outono de 2007.

Variável	Contribuição da variável no Componente Principal (>0,7)			
	Fator1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
<b>hym</b>	<b>0,859568</b>	-0,042048	0,483219	0,160858
<b>ort</b>	<b>0,914204</b>	0,114267	-0,065909	-0,383185
<b>ara</b>	<b>0,838433</b>	-0,284948	-0,404741	0,228080
<b>clb</b>	0,175289	<b>0,973190</b>	-0,089891	0,118723
<i>Variância explicada</i>	2,308321	1,043119	0,409740	0,238821
<i>Proporção total</i>	0,577 (57,7%)	0,261 (26,1%)	0,102 (10,2%)	0,059 (5,9%)

Com base na obtenção dos autovalores e autovetores, e suas respectivas contribuições para explicar a variabilidade parcial e total dos dados, foi possível a elaboração de um sistema de coordenadas criados pelos fatores 1 e 2 pelo fato de somente estes dois fatores explicarem aproximadamente 84,0% da variância total (Figura 3.10). Observam-se, nesta figura, que as variáveis não se sobrepõem umas às outras. Isto mostra que essas não possuem a mesma representatividade no plano formado entre os fatores 1 e 2.

Conforme Valentin (2000), a interpretação de um eixo na Análise de Componentes Principais (ACP) deve ser baseada nas coordenadas das variáveis neste eixo, a partir das quais foi elaborada a matriz de correlação que deu origem aos autovetores. Com relação a esse aspecto, a variável mais distante do centro de origem do plano fatorial 1x2 foi o grupo *clb*. Tal grupo, formado por colêmbolos, posicionou-se, como mostra a Figura 3.9, na extremidade do eixo cartesiano, bem próximo ao círculo unitário, logo, possuindo maior influência, representada, neste caso, pela densidade de organismos capturados nas armadilhas durante os levantamentos que compreenderam o período de inverno de 2006 e outono de 2007. Os demais grupos, *ort*, *hym* e *ara*, respectivamente grilos e gafanhotos; formigas; e aranhas, também distantes do centro de origem do eixo cartesiano, apresentaram uma maior proximidade entre eles.



Essa maior ou menor proximidade entre dois ou mais pontos-variáveis, no plano, traduz uma maior ou menor correlação (similaridade) entre as variáveis, principalmente quando elas estão afastadas do centro do plano (Valentin, 2000; Souza & Vicini, 2005).

A Análise de Componentes Principais (ACP) demonstrou não haver influência da aplicação dos herbicidas sobre a comunidade de organismos nos grupos taxonômicos. Nos quatro quadrantes formados pelo eixo cartesiano (I; II; III e IV), observou-se apenas a existência de componentes formados pelas estações do ano, separando os pontos-amostra avaliados no período da primavera nos quadrantes I e II (elipse maior) e do verão no quadrante IV. As estações de outono e inverno foram separadas no quadrante III, apresentando similaridade quanto à densidade de organismos capturados, menor nestas duas épocas do ano. Essa separação em diferentes quadrantes mediada pela ACP mostra que o grupo de colêmbolos foi fortemente influenciado pela época de coleta (primavera) e não pela ação dos herbicidas. Esse fato é comprovado pelas variáveis suplementares e explicativas adotadas na análise. Tanto a variável explicativa *PP* como *T°C* posicionaram-se no mesmo quadrante (I), conferindo influência direta sobre os quatro grupos taxonômicos em questão.

A densidade de colêmbolos no sistema avaliado esteve fortemente associada à precipitação na época da primavera, embora também estabeleça uma associação com a temperatura uma vez que essas duas variáveis suplementares correlacionem-se entre si.

As inferências acerca da inexistência de efeitos prejudiciais da aplicação de herbicidas sobre os grupos taxonômicos *ort*, *hym* e *ara* são também pertinentes e válidas. Contudo, esses grupos foram claramente explicados pela variável temperatura, na estação do verão (Figura 3.10).

Os resultados da ACP para os quatro grupos mais representativos mostram, de modo geral, que os condicionantes relacionados à meso e macrofauna epiedáfica são melhor explicados por variáveis ambientais, como precipitação e temperatura, quando comparadas com as variáveis antrópicas impostas pela aplicação dos herbicidas no solo. Esse fato foi explicado, em parte, pelo grupo *clb*, composto por colêmbolos. Para alguns autores, esses organismos, assim como os organismos representantes da ordem Hymenoptera (formigas) são sensíveis a mudanças provocadas no ambiente e, por esse motivo, têm sido os mais estudados como bioindicadores edáficos (Paoletti et al., 1995; Paoletti & Bressan, 1996; Wink et al., 2005).

A utilização dos herbicidas pode ter atuado indiretamente sobre a meso e macrofauna estabelecida no ecossistema avaliado através de mudanças na composição e controle da cobertura vegetal existente no local, acelerando o processo de decomposição dessa cobertura,

que é também papel da comunidade edáfica presente nesse solo. No sistema do solo, a adição ou a aceleração de processos energéticos relacionados a resíduos vegetais é considerada um misto de alimento e habitat, contribuindo para um aumento da densidade e diversidade de vários grupos da fauna edáfica e é tida como um dos processos-chave para a manutenção da estrutura e fertilidade dos solos tropicais (Lavelle, 1996, Correia & Oliveira, 2000).

### 3.4 Conclusões

Não houve evidências de separação de grupos taxonômicos que pudessem sinalizar as alterações impostas à meso e macrofauna epiedáfica por intermédio da aplicação de herbicidas na área de plantio de acácia-negra.

O número de grupos taxonômicos identificados variou entre oito (8) e onze (11), com predomínio de grupos nas estações de verão e outono. Os grupos mais representativos foram *clb* (Collembola), como parte da mesofauna, e *hym* (Hymenoptera), da macrofauna epiedáfica, com maior densidade de organismos na estação da primavera e do verão, respectivamente.

A aplicação de herbicidas não comprometeu a diversidade e a densidade de organismos, segundo o índice de diversidade de Shannon (H) e a riqueza de grupos taxonômicos presentes no local, estando esses atributos faunísticos condicionados à variação estacional ao longo do ano.

Precipitação e temperatura são as variáveis ambientais que explicam as modificações sobre os grupos mais representativos (himenópteros, dípteros, aranhas e colêmbolos) ocorrentes no local de plantio.

Os resultados alcançados no presente estudo evidenciam que a densidade e diversidade de organismos dentro dos grupos taxonômicos avaliados sofrem maior influência de variáveis ambientais e não reproduzem efeitos diretos da aplicação de herbicidas sobre a meso e macrofauna durante o estabelecimento dessa espécie florestal.

### 3.5 Referências Bibliográficas

ANTONIOLLI, Z. I et al. Método alternativo para estudar a fauna do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n. 4, p.407-417, 2006.

AQUINO, A. M. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO, A. M; ASSIS, R. L. **Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 3, p. 47-75.

BARBAULT, R. et al. Conceptual framework and research issues for species diversity at the community level. In: SOLBRIG, O. **From Genes to Ecosystems: a Research Agenda for Biodiversity**. IUBS/SCOPE/UNESCO, 1991. p. 37-71.

BARETTA, D. et al. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul-Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.715-724, 2005.

BLANDIN, P. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. **Bulletim Ecology**, v. 17, p. 215-307, 1986.

CATTEL, R. B. The scree test for the number of factors. In: ---, **Multivariate behavior research**. v.1, p. 245-276, 1966.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. **Fauna do solo: Aspectos Gerais e Metodológicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, fev. 2000. 46p. (Embrapa *Agrobiologia*. Documentos, 112).

CORTET, J. et al. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, n. 3, p. 115-134, 1999.

EATON, R. J. et al. Effects of organic matter removal, soil compactation, end vegetation control on Collembolan populations. **Pedobiologia**, v. 48, p. 121-128, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Brasília, DF). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

GILLER, K. L. et al. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. **Applied Soil Ecology**. Amsterdam, v. 6, p. 3-16, 1997.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v. 33, p. 3-16, 1996.

MERLIM, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas de araucária preservados e degradados no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP**. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MOÇO, M. K. S. et al. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 555-564, 2005.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara. 1983, 434 p.

PAOLETTI, M. G.; BRESSAN, M. Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. **Critical Review of Plant Science**, v. 15, p. 21-62, 1996.

PAOLETTI, M. G. et al. Soil macroinvertebrates, heavy metals and organochlorines in low end high input apple orchards and a coppiced woodland. **Pedobiologia**. Jena, v. 39, p. 20-33, 1995.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul**. 3<sup>a</sup> Ed. São Leopoldo: Editora Unisinos. 473p., 1994.

RENAUD, A. et al. Influence of four soil maintenance practices on Collembola communities in a Mediterranean vineyard. **Pedobiologia**, v.48, p. 623-630, 2004.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise Multivariada: da Teoria à Prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, Caderno Didático, 215p., 2005.

URAMOTO, K. et al. Análise quantitativa e distribuição de populações de espécies de *Anastrepha* (Díptera: Tephritidae) no Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 1, p. 33-39, 2005.

WARDLE, D. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Advances Ecological Research**. New York, v. 26, p. 105-182, 1995.

WINK, C. et al. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, p. 60-71, 2005.

VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

## **4 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO SOB A INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PLANTIOS DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.)**

### **4.1 Introdução**

A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, garantindo, sob todos os aspectos, o preceito maior que é sua conservação. Um solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento de plantas quando apresenta boa retenção de água, bom arejamento, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular. Dentre os indicadores físicos de qualidade do solo, Karlen & Stott (1994) relacionam a densidade do solo, porosidade, estrutura, estabilidade dos agregados, taxa de infiltração, além de outros parâmetros relacionados com o desenvolvimento das plantas.

A estrutura do solo, conceitualmente, não é um fator de crescimento das plantas ou indicativo direto da qualidade ambiental. Entretanto, está relacionada indiretamente com, praticamente todos os fatores que agem sobre eles. O suprimento de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a atividade biológica e microbiana e a penetração de raízes, dentre outros, são afetados pela estrutura do solo. O uso intensivo do solo, aliado, por vezes, a condições inadequadas de manejo, concorre para a deterioração de suas propriedades físicas e isso se deve, principalmente, às modificações em sua estrutura (Olszewski et al., 2004).

Nos plantios florestais, salvo os processos de natureza alelopática, os grandes trunfos das plantas cultivadas são a capacidade de rápido crescimento e recrutamento de recursos do meio e alto poder de interceptação solar, dificultando o acesso e a utilização desses pela comunidade de plantas infestantes estabelecidas na área de plantio. Contudo, o grau de interferência das plantas infestantes é ainda prejudicial sobre o cultivo florestal, e o manejo atualmente empregado tem sido a utilização, em larga escala, de herbicidas, tanto de ação pré como pós-emergente no solo.

Em condições de campo, as plantas exigem um sistema poroso com condições para suprir a parte aérea com água, nutrientes e ar e prover-lhes sustentação mecânica. Esse sistema é constituído por poros de diferentes tamanhos, formas e continuidade, que influenciam a infiltração, o armazenamento e a drenagem da água, o movimento e a distribuição de gases; e o crescimento radicular (Fidalski & Tormena, 2007). Porém, a dinâmica de ação dos herbicidas com relação aos efeitos sobre alguns parâmetros físicos do

solo, e também biológicos, quando adotados em práticas diferenciadas de manejo de plantas infestantes é pouco conhecida, apesar dos avanços no estudo sobre pesticidas em ambientes tropicais. Dentre esses parâmetros, a densidade, a porosidade e a estabilidade de agregados do solo constituem as propriedades físicas mais estudadas para a caracterização e identificação dos efeitos dos sistemas de manejo nas condições físicas do solo (Fidalski & Tormena, 2007).

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação de herbicidas na densidade, porosidade e estabilidade de agregados do solo, quando utilizados no controle de plantas infestantes em plantios de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.).

## **4.2 Material e Métodos**

A base experimental de campo para o estudo relacionado aos parâmetros físicos do solo foi a mesma descrita no estudo acerca do comportamento da meso e macrofauna epiedáfica quando expostas à diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas (descrita nos itens 3.2.1; 3.2.2 e 3.2.3, do Capítulo 3).

### **4.2.1 Densidade, porosidade e estabilidade de agregados**

A densidade, porosidade total, assim como a macro e microporosidade do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por EMBRAPA (1997). Para tal, duas (2) amostras de solo foram coletadas na linha de plantio e duas (2) na entrelinha de plantio das mudas, extraídas por meio de cilindros de aço inox de 5,0x5,0 (diâmetro e profundidade, respectivamente, em centímetros). As amostras de solo foram coletadas em dois períodos. A primeira coleta constituiu-se na amostragem na linha e na entrelinha de plantio das mudas, previamente ao estabelecimento dos tratamentos nas unidades amostrais (antes da aplicação dos herbicidas e da roçada manual, logo após o preparo do solo). Quanto à segunda coleta, o solo foi amostrado somente na linha de preparo do solo (linha de plantio das mudas), ao final do estudo (após todas as aplicações dos herbicidas e da roçada manual). Em laboratório, as amostras foram saturadas em água por um período de 24 horas. Após pesagem (cilindro + solo saturado), as amostras permaneceram na mesa de tensão a 60,0cm, por 48 horas, sendo submetidas à nova pesagem após este período. O passo seguinte foi o monitoramento das amostras em estufa a 105°C, durante 24 horas, quando novamente foram pesadas.

A microporosidade foi determinada pela expressão:

$$\text{Microporosidade (\%)} = [(PA_{60cm} - PAS) / VC] * 100$$

onde: PA= peso da amostra a 60cm; PAS=peso da amostra seca a 105°C e VC=volume do cilindro.

A porosidade total pela expressão:

$$\text{Porosidade total (\%)} = [(DR - DS) / DR] * 100$$

onde: DR=densidade real e DS=densidade do solo.

A macroporosidade pela expressão:

$$\text{Macroporosidade (\%)} = \text{porosidade total} - \text{microporosidade}$$

A distribuição dos agregados estáveis em água foi determinada pelo método modificado de Kemper & Chepil (1965), para agregados menores que 8,0mm. As amostras foram coletadas na forma de monólito de 20,0cm x 20,0cm e profundidade de 5,0cm, uma na linha e uma na entrelinha de plantio das mudas.

A estabilidade estrutural foi expressa pelo diâmetro médio geométrico modificado (DMGm), conforme a equação abaixo:

$$\text{DMG} = \text{Exp} ( \Sigma (MA_i \ln (d_i) / \text{MAT}) )$$

onde:  $MA_i$  = massa de agregados na classe  $i$ ;  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $d_i$  = diâmetro médio da classe  $i$ ; e MAT = massa total de agregados descontada a fração inerte.

#### 4.2.2 Análise estatística

Os valores encontrados para os atributos do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA *two-way*) e as médias comparadas por meio do teste Tukey, a 5% de significância. Os atributos densidade, macro e microporosidade, porosidade total e diâmetro médio geométrico de agregados do solo foram analisados, separadamente, para a primeira

coleta (antes da aplicação dos tratamentos), na linha e na entrelinha de plantio, e para a segunda coleta (ao final do estudo, após todas as aplicações dos tratamentos), somente na linha de plantio, usando o programa estatístico SAS, *Statistical Analysis System*, versão 8.02.

### **4.3 Resultados e Discussão**

Os resultados constatados após a aplicação dos herbicidas evidenciaram a ocorrência de efeitos indiretos sobre os atributos do solo avaliados neste estudo. Atribui-se essa constatação ao controle da matocompetição existente na área, que foi considerado similar, em termos de eficiência agronômica dos herbicidas, ao controle desejado em áreas de plantios comerciais por parte das empresas do setor florestal brasileiro. Embora dados de eficiência agronômica dos herbicidas não tenham sido avaliados, como o espectro de controle de plantas infestantes (folhas largas e gramíneas), observou-se um controle mais efetivo somente na linha de plantio das mudas, onde o solo foi revolvido. Desse modo, a exposição do solo a fatores climáticos não foi permanente em todas as unidades experimentais avaliadas.

Os atributos do solo avaliados no estudo são apresentados nas Tabela 4.1 e 4.2 (densidade, macro, micro e porosidade total do solo) e Tabela 4.3 (diâmetro médio geométrico de agregados do solo - *DMG*).

#### **4.3.1 Densidade do solo**

Na primeira coleta, a densidade do solo não diferiu estatisticamente entre a coleta na linha e na entrelinha, em nenhum dos tratamentos em estudo (Tabela 4.1). Devido ao revolvimento do solo na linha de plantio para implantação da espécie florestal, esperavam-se menores valores de densidade do solo nesse local em relação à entrelinha, onde não ocorreu revolvimento. Esse resultado demonstra uma rápida reacomodação das partículas do solo. Com exceção do tratamento Glyphosate na linha de plantio, os demais tratamentos apresentaram valores de densidade do solo superiores e semelhantes entre si.

Tabela 4.1 – Valores médios para densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) em área de plantio de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetidas a quatro aplicações dos tratamentos, na linha e na entrelinha de plantio (primeira coleta) e linha de plantio das mudas (segunda coleta) (Dezembro/2005 a Novembro/2007). Santa Maria (RS).

Tratamento	Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ )		
	PRIMEIRA COLETA (antes da aplicação dos herbicidas)		SEGUNDA COLETA (após as aplicações dos herbicidas)
	Linha	Entrelinha	Linha
Glyphosate	1,39 A*	1,61 A	1,23 b**
Imazapyr	1,50 A	1,61 A	1,28 ab
Oxyfluorfen	1,62 A	1,61 A	1,28 ab
Pendimethalin	1,62 A	1,61 A	1,26 b
Roçada manual	1,62 A	1,59 A	1,38 a
Testemunha	1,60 A	1,61 A	1,32 ab

\* Médias seguidas por mesma letra maiúscula na LINHA não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%)

\*\* Médias seguidas por mesma letra minúscula na COLUNA não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%).

Na segunda coleta, o tratamento que recebeu roçada apresentou significativamente maior densidade do solo, enquanto os tratamentos Glyphosate e Pendimethalin apresentaram significativamente os menores valores. Os tratamentos químicos não apresentaram diferença estatística entre si e foram inferiores à roçada e à testemunha. Após a aplicação dos herbicidas (segunda coleta), verificou-se que todos os tratamentos apresentaram menores valores de densidade do solo em relação à primeira coleta. Essa menor densidade do solo após a aplicação dos herbicidas pode estar associada aos canais formados pelas raízes das mudas de acácia-negra e atividade biológica.

#### 4.3.2 Macroporosidade

A macroporosidade do solo diferiu estatisticamente em relação aos pontos de coleta, linha e na entrelinha, na primeira amostragem. Contudo, para cada local de coleta os tratamentos não diferiram entre si (Tabela 4.2). O revolvimento do solo na linha de plantio apresentou maior efeito sobre a macroporosidade do que propriamente os tratamentos de eliminação das plantas daninhas.

Tabela 4.2 – Valores médios, em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , para porosidade total, macro e microporosidade do solo em área de plantio de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetida a diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas. (Dezembro/2005 a Novembro/2007). Santa Maria (RS).

Tratamento	Período e Local de coleta								
	PRIMEIRA COLETA (antes da aplicação dos herbicidas)						SEGUNDA COLETA (após aplicação)		
	Linha			Entrelinha			Linha		
	Total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Macro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Micro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Macro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Micro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Macro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	Micro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )
Glyphosate	0,48 A*	0,23 A	0,24 A	0,40 A	0,16 A	0,24 A	0,54 A	0,22 A	0,22 A
Imazapyr	0,43 A	0,22 A	0,23 A	0,40 A	0,14 A	0,25 A	0,52 AB	0,22 A	0,21 A
Oxyfluorfen	0,38 A	0,16 A	0,23 A	0,39 A	0,14 A	0,25 A	0,52 AB	0,22 A	0,22 A
Pendimethalin	0,39 A	0,15 A	0,23 A	0,40 A	0,16 A	0,24 A	0,53 A	0,23 A	0,23 A
Roçada manual	0,39 A	0,16 A	0,23 A	0,40 A	0,14 A	0,26 A	0,48 B	0,24 A	0,24 A
Testemunha	0,40 A	0,16 A	0,24 A	0,39 A	0,14 A	0,26 A	0,50 AB	0,23 A	0,23 A
Local de coleta	0,41 a	0,18 a	0,23 b	0,40 a	0,14 b	0,25 a	-	-	-

\* Médias (tratamentos com herbicida) seguidas por mesma letra maiúscula na COLUNA não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%); médias (linha e entrelinha) seguidas por mesma letra minúscula na LINHA não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%).

A macroporosidade avaliada na linha de plantio na segunda coleta não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e, de modo geral, a macroporosidade foi maior na segunda coleta em relação à primeira, fato associado à menor densidade do solo na segunda coleta.

Os valores de macroporosidade do solo obtidos neste plantio de acácia-negra são superiores a  $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ , valor considerado mínimo para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas (Vomocil & Flocker, 1961), o que indica uma condição favorável desse solo ao crescimento das plantas.

### 4.3.3 Microporosidade

Assim como a macroporosidade, a microporosidade do solo na primeira coleta não diferiu estatisticamente entre os tratamentos de eliminação de plantas daninhas, mas diferiu entre os locais de coleta do solo, linha e entrelinha, tendo esta última maior microporosidade.

Na segunda coleta, a microporosidade não diferiu entre os tratamentos, e seus valores foram semelhantes aos obtidos na primeira coleta na linha de amostragem.

#### 4.3.4 Porosidade total

Para cada local de amostragem, a porosidade total não apresentou diferença significativa entre os tratamentos na primeira coleta. Esperava-se que a linha de coleta apresentasse maior porosidade total e principalmente um aumento na macroporosidade, devido ao revolvimento do solo. Talvez a forma e a distribuição dos poros possam ter apresentado maior influência do revolvimento do solo na linha de plantio do que propriamente a quantidade de poros do solo (Schaefer et al., 2001).

Embora macroporosidade e microporosidade não tenham diferido entre os tratamentos de eliminação de plantas daninhas, a porosidade total diferiu na segunda coleta, tendo os tratamentos químicos (herbicidas) maior porosidade total em relação ao tratamento mecânico (roçada) e testemunha.

#### 4.3.5 Diâmetro médio geométrico (DMG)

O diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) diferiu entre os locais de coleta, linha e entrelinha, tendo na entrelinha o maior diâmetro na primeira coleta (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Valores médios para o diâmetro médio geométrico (DMG, em mm) de agregados do solo em área de implantação de floresta de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), submetidas a diferentes tipos e intensidades de aplicação de herbicidas. Santa Maria (RS).

Tratamento	Número de aplicações	DMG (mm)		
		PRIMEIRA COLETA*		SEGUNDA COLETA**
		(antes da aplicação dos herbicidas)		(após aplicação)
		Linha	Entrelinha	Linha
Glyphosate	2	2,07 B	3,55 A	1,71 a
	3	1,26 B	3,49 A	1,82 a
	4	1,89 B	3,42 A	1,89 a
Imazapyr	2	2,33 A	2,88 A	1,51 a
	3	1,59 B	2,95 A	2,17 a
	4	1,36 B	3,84 A	1,76 a
Oxyfluorfen	2	1,84 B	2,63 A	1,77 a
	3	1,70 A	2,29 A	1,90 a
	4	1,82 B	3,20 A	1,53 a
Pendimethalin	2	1,83 B	3,61 A	1,55 a
	3	2,13 B	3,40 A	1,48 a
	4	1,79 B	2,93 A	1,36 a
Roçada manual	2	2,14 B	2,92 A	1,63 a
	3	1,86 B	3,25 A	1,82 a
	4	1,91 B	2,98 A	1,55 a
Testemunha	ausente	2,35 B	3,44 A	1,57 a

\* Primeira coleta – Médias seguidas por mesma letra maiúscula na LINHA não diferem entre si (Tukey 5%).

\*\* Segunda coleta – Médias seguidas por mesma letra minúscula na COLUNA não diferem entre si (Tukey 5%).

Devido ao não revolvimento do solo e, conseqüentemente, a melhor estrutura do solo na entrelinha, houve a formação de agregados mais estáveis e de maior diâmetro. Além disso, o revolvimento do solo realizado na linha de plantio pode ter contribuído para redução da matéria orgânica do solo, um dos principais agentes responsáveis pela estabilização dos agregados do solo.

Quanto maior a intensidade de desestruturação do solo pelo revolvimento, maior a degradação da estrutura do solo (Silva, 2003). Além das forças disruptivas da ação mecânica, o solo revolvido fica exposto à desagregação pelo impacto das gotas da chuva que, somado à mineralização da matéria orgânica, diminui a estabilidade dos agregados (Albuquerque et al., 1994; Marcolan & Anghinoni, 2006).

#### 4.4 Conclusões

Após um ano de avaliação, a aplicação de herbicidas sob diferentes ingredientes ativos e número de intervenções não ocasionou mudanças na densidade do solo.

A macroporosidade do solo foi maior ao final do período de aplicação dos herbicidas, assumindo valores superiores aos recomendados para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas de acácia-negra, enquanto que a microporosidade manteve-se similar aos valores encontrados na linha e na entrelinha de plantio, antes e após a aplicação dos herbicidas.

A porosidade total do solo na linha de plantio das mudas foi maior no solo submetido aos tratamentos químicos (herbicidas) em relação ao tratamento mecânico (roçada) e à testemunha.

O Diâmetro Médio Geométrico dos agregados (*DMG*) não diferiu entre os tratamentos após o período de aplicação dos herbicidas, e seus valores foram semelhantes aos verificados na primeira coleta.

#### 4.5 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J. & FIORIN, J. E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Ciência Rural**, v. 24, p. 275-280, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranja com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 637-645, 2007.

KARLEN, D.; STOTT, D. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., D.C. Molina y R.F. Stewart (eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Special Publication n. 35. Soil Science Society of America (SSSA), Madison, WI, 1994.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965. p. 499-509.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 163-170, 2006.

OLSZEWSKI, N. et al. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p. 901-909, 2004.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 765-769, 2001.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 4, p. 242-246, 1961.

## 5 INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS SOBRE A NODULAÇÃO RIZÓBICA EM MUDAS DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.)

### 5.1 Introdução

O processo conhecido como Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é um processo biológico realizado por algumas espécies de bactérias de solo. Esse processo só é possível devido ao fato desses microorganismos possuírem um complexo enzimático capaz de romper a forte ligação tríplice entre as duas moléculas do nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>), este indisponível às plantas em sua forma natural, na atmosfera.

Entre as bactérias fixadoras de nitrogênio presentes no solo, as primeiras a alcançar renome internacional foram as do gênero *Rhizobium*, e até hoje representam o grupo mais importante e mais estudado em ecossistemas tropicais, pela sua associação às leguminosas arbóreas e arbustivas (Reis & Teixeira, 2005; Stralio, 2005). O rizóbio induz, em suas plantas hospedeiras, a formação de estruturas especializadas chamadas nódulos, nos quais o nitrogênio molecular é reduzido à amônia e disponibilizado, então, às plantas.

A importância das espécies arbóreas leguminosas, fixadoras de nitrogênio atmosférico, e dentre estas a acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), pode ser evidenciada em sistemas agroflorestais, agrosilvipastoris e em programas de recuperação de áreas degradadas. Nesse processo, há o fornecimento de material formador da serapilheira rico em N que, além de melhorar a fertilidade do solo, reduz a erosão do solo, serve de substrato para melhorar a estruturação e as propriedades biológicas do solo (Dommergues et al., 1999 apud Franco & Campello, 2005).

Não há dúvida de que agentes tóxicos ao atingirem o solo interferem no ecossistema, mas a significância ecológica disso, no contexto da microbiologia do solo, ainda não pode ser efetivamente determinada (Moreira & Siqueira, 2002). O comportamento e o destino de determinado composto químico no solo dependem, principalmente, de suas propriedades químicas intrínsecas e aspectos funcionais da molécula. Porém, outros fatores como a quantidade e frequência de aplicação, condições físicas, químicas e biológicas do solo, são também de igual importância. Nessa realidade, está se difundindo a possibilidade de decisão por métodos silviculturais baseados na utilização de herbicidas para o controle de plantas infestantes no cultivo da acácia-negra no Rio Grande do Sul. Embora vários estudos tenham

sido conduzidos nessa área, a literatura disponível acusa resultados inconsistentes sobre a interação enzimas-pesticidas nos processos biológicos do solo. Schäffer (1993) apud Moreira & Siqueira (2002), após analisar um número considerável de artigos científicos publicados, concluiu que existem poucas evidências de que os pesticidas, quando aplicados adequadamente, interferem significativa e permanentemente na atividade microbiana do solo. Nesse contexto, reside ainda uma grande preocupação em elucidar, mais efetivamente, os impactos causados pelo uso prolongado de certos produtos químicos sobre o ecossistema do solo, fundamentalmente em espécies arbóreas leguminosas utilizadas em plantios comerciais, como é o caso da acácia-negra. Desse modo, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes moléculas químicas de ação herbicida sobre a formação de nódulos radiculares originados por meio da simbiose entre bactérias do gênero *Rhizobium* e o sistema radicular de mudas de acácia-negra, em condições ambientais controladas.

## 5.2 Material e Métodos

### 5.2.1 Condições experimentais do estudo

A constatação e quantificação de nódulos de *Rhizobium* formados no sistema radicular das mudas de Acácia-negra foram avaliadas em condições de casa de vegetação, em vasos plásticos com capacidade para um (1) quilograma de solo.

O substrato utilizado no estudo foi uma composição de solo, manta florestal de povoamentos de acácia-negra e vermiculita, na proporção 3:1:1 (v/v), adicionado aos vasos plásticos na quantidade de 0,8kg.

Como forma de minimizar o possível efeito de nodulações espontâneas de rizóbio no sistema radicular das mudas, foi procedida a inoculação de bactérias através da adição de um (1) grama de inóculo (tipo turfa) por vaso, sendo este específico para a espécie *Acacia mearnsii* De Wild., proveniente da EMBRAPA Agrobiologia (Seropédica, RJ). Após a inoculação, procedeu-se à inserção de plântulas de acácia-negra nos vasos com substrato e inóculo. As plântulas, produzidas via seminal, foram classificadas e padronizadas à altura de 10 cm (Figura 5.1 A).

Os vasos foram mantidos em condições controladas de temperatura ( $26^{\circ}\text{C} \pm 2$ ) e umidade relativa (80%), em condição de irrigação do tipo microaspersão (Figura 5.1 B).



Figura 5.1 – Padrão de plântula (A) utilizada para avaliação da nodulação rizóbica em mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), em condições de casa de vegetação (B). Santa Maria (RS).

O estudo foi estabelecido no delineamento blocos ao acaso (quatro repetições), com 10 plantas por tratamento, os quais estiveram constituídos da seguinte forma: Glyphosate ( $4,0 \text{ litros.ha}^{-1}$ ); Imazapyr ( $3,0 \text{ litros.ha}^{-1}$ ); Oxyfluorfen ( $4,0 \text{ litros.ha}^{-1}$ ); Pendimethalin ( $3,0 \text{ litros.ha}^{-1}$ ); e Testemunha absoluta (com inóculo, porém sem herbicida). Os tratamentos propostos vigoraram a partir de maio de 2007 (três meses após efetivo estabelecimento das mudas (plântulas) nos vasos e foram aplicados proporcionalmente à capacidade de substrato contido em cada um dos vasos (alíquotas).

Três meses após a aplicação dos herbicidas, foi realizada a semeadura de uma gramínea sensível a moléculas herbicidas (*Oryza* sp.), com o propósito de diagnose visual acerca de efeitos residuais dos herbicidas em teste. A adoção desta planta como bioindicadora de feitos residuais foi baseada, inicialmente, no estudo desenvolvido por Moraes et al. (2002), que demonstraram haver influência de poluentes químicos sobre a germinação de sementes de arroz.

A avaliação ocorreu aos 270 dias após a implantação do estudo (novembro de 2007), no qual avaliou-se altura das mudas, biomassa radicular e de parte aérea e biomassa de nódulos ativos de bactérias do gênero *Rhizobium* que colonizaram as raízes das mudas. O material coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar ( $105^{\circ}\text{C} \pm 2$ ), até peso constante.

### 5.2.2 Análise estatística

Os valores encontrados para altura e biomassa (raiz e parte aérea) das mudas foram submetidos à análise de variância (ANOVA *one-way*) e as médias comparadas por meio do teste Tukey ( $p < 0,05$  e  $p < 0,01$ ), bem como as correlações entre as variáveis levantadas, usando o programa estatístico SAS, *Statistical Analysis System*, versão 8.02.

### 5.3 Resultados e Discussão

A prática de semeadura de uma espécie sensível a efeitos residuais de agroquímicos no solo, normalmente gramíneas de rápida germinação, permitiu diagnosticar, ao longo do período de avaliação do trabalho, o tempo de persistência das moléculas herbicidas aplicadas ao substrato no qual as mudas foram implantadas. Anteriormente ao período previsto para avaliação final do experimento, constatou-se não haver efeito residual dos herbicidas aplicados ao substrato, como mostra a Figura 5.2.



Figura 5.2 – Diagnose visual do efeito residual de herbicidas no substrato de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) através de gramínea (*Oryza* sp.), com destaque para a germinação das sementes sem fitotoxicidade (A) e no período de avaliação final do estudo (B). Outubro/2007. Santa Maria (RS).

Os resultados dos dados de biomassa de nódulos nas mudas em função do herbicida utilizado, submetidos à análise de variância, estão descritos na Tabela 5.1. A análise estatística mostrou que a biomassa de nódulos foi influenciada significativamente pelo tipo de herbicida empregado, em nível  $\alpha = 5\%$  de probabilidade de erro e valor de  $F_{\text{calc.}} = 5,74$ .

Tabela 5.1 – Análise de variância para biomassa de nódulos em mudas de *Acacia mearnsii* De Wild., em função de diferentes herbicidas aplicados ao substrato. Novembro/2007.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob.&gt;F (5%)</b>
Tratamento	4	1,33841	0,33460	5,74	0,0004
Bloco	3	0,35132	0,11710	2,01	0,1179
Erro	92	5,35887	0,05825	-	-
Total	99	7,04860	-	-	-

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

O teste de comparação de médias por meio da diferença mínima significativa (Tukey 5%) para este parâmetro, considerando o efeito de cada um dos herbicidas, é apresentado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Comparação de médias pelo teste de diferença mínima significativa (Tukey 5%) para a variável biomassa de nódulo no sistema radicular de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild), em função tipo de herbicida, em condições de casa de vegetação. Santa Maria (RS).

<b>Tratamentos</b>	<b>Biomassa de nódulos (gramas)</b>	<b>Tukey (<math>p&lt;0,05</math>)</b>
Oxyfluorfen	0,532	A*
Imazapyr	0,486	AB
Pendimethalin	0,473	AB
Glyphosate	0,305	BC
Testemunha	0,233	C

\* Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (Tukey 5%).

Ao comparar as médias de biomassa de nódulos após a aplicação dos herbicidas, verificou-se que o herbicida Oxyfluorfen apresentou maior ganho para este parâmetro (0,532g), embora tenha sido observado comportamento semelhante quanto aos efeitos causados pela aplicação dos herbicidas Imazapyr e Pendimethalin, com médias de 0,486g e 0,473g, respectivamente (Tabela 5.2).

O herbicida Glyphosate, com média de 0,305g, também foi estatisticamente similar aos herbicidas Imazapyr e Pendimethalin, porém não diferiu do tratamento testemunha, que apresentou a menor média de biomassa de nódulos (0,233g). Com relação ao Glyphosate, vários estudos têm sido conduzidos sobre os impactos deste sobre os processos biológicos do solo, porém de forma indireta, envolvendo principalmente comunidades heterotróficas (Busse et al., 2001), variando consideravelmente em função das espécies de bactérias fixadoras de

nitrogênio (vida livre) estudadas (Santos & Flores, 1995). Recentemente, Santos et al. (2004) observaram respostas diferenciadas no crescimento de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. nativas do Brasil, em razão da aplicação de diferentes formulações comerciais de Glyphosate, revelando a importância de se considerar, também, os componentes adjuvantes desses herbicidas nessas avaliações de impactos.

Pode-se observar, na Figura 5.3, que o incremento em biomassa de nódulos obtido entre a testemunha e o herbicida Glyphosate foi de 30,9%, ou seja, ocorreu um acréscimo de 0,072g. Em soja tolerante ao Glyphosate (formulação comercial denominada Roundup Ready, RR), King et al. (2001) relataram que a aplicação desta forma de glifosato aumentou o número e diminuiu o peso de nódulos de *Bradyrhizobium* spp. Nota-se ainda que os herbicidas Pendimethalin e Imazapyr, quando comparados ao tratamento testemunha, também apresentam um considerável acréscimo em biomassa de nódulos, com valores de 103% (0,240g) e 108,6% (0,253g), respectivamente.

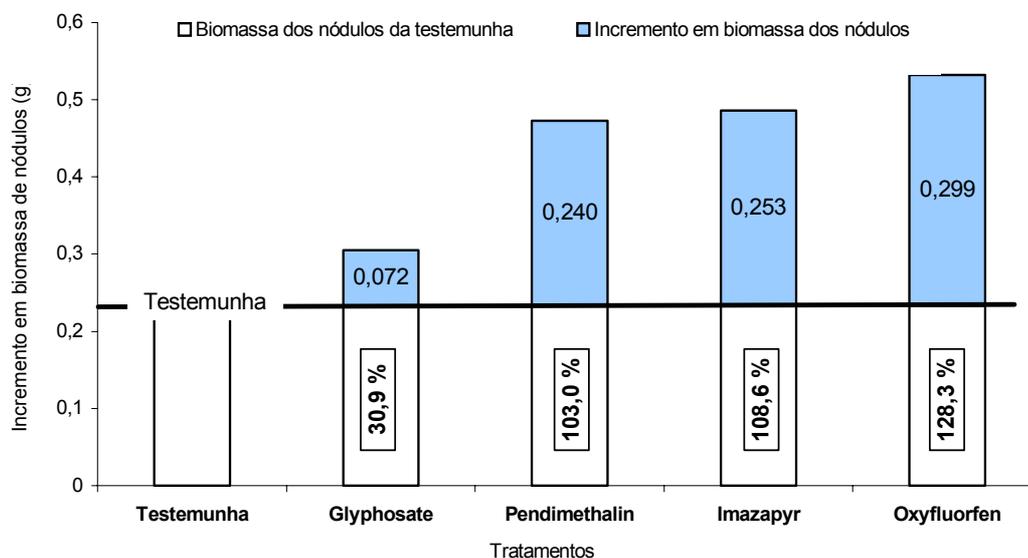


Figura 5.3 – Influência do herbicida no incremento em biomassa de nódulos no sistema radicular de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). Novembro/2007.

Presume-se que, de modo geral, houve um efeito positivo gerado pela aplicação dos herbicidas sobre a efetividade e colonização/multiplicação bacteriana no sistema radicular das mudas, uma vez que o tratamento onde não houve a aplicação de herbicida (testemunha) também recebeu a dose padrão de inoculante de rizóbio em seu substrato.

Entretanto, o herbicida que merece destaque entre os estudados é o Oxyfluorfen, por apresentar um incremento em biomassa de nódulos de 128,3%, o que representa 0,299g. Embora tenha-se constatado esta relação positiva entre a aplicação de Oxyfluorfen sobre a nodulação rizóbica em mudas de acácia-negra, Maly et al. (2006) mencionam autores que relatam que, no caso de rizóbio, o crescimento, a sobrevivência, a nodulação e a atividade da nitrogenase têm sido avaliados em diversos trabalhos, revelando resultados inconsistentes, e que variam de acordo com as doses aplicadas, espécies/estirpes estudadas e condições experimentais, como em meios artificiais. Em contrapartida, resultados semelhantes ao deste trabalho foram relatados por Singh & Wright (2002), que mencionaram não haver efeito deletério significativo de herbicidas sobre colônias de *Rhizobium leguminosarum*, nem tampouco sobre a atividade da enzima nitrogenase.

O herbicida Imazapyr testado neste estudo (Tabela 5.2), representou a segunda maior média para biomassa de nódulos (0,486g). Do mesmo grupo químico do Imazapyr (Imidazolinonas), o herbicida Imazamox, embora não tenha induzido à multiplicação bacteriana, não apresentou toxidez sobre estirpes de *Rhizobium tropici* cultivadas em meio de cultura (Santos et al., 2006). Também não foi constatada influência sobre a efetividade, número e peso de nódulos de *Bradyrhizobium japonicum* quando aplicados os herbicidas Imazaquin e Imazethapyr (Imidazolinona), nas doses recomendadas pelo fabricante, para cultivo da soja em Buenos Aires, Argentina (Gonzalez et al., 1999).

Os valores para correlação da biomassa de nódulos em função dos diferentes herbicidas empregados e das variáveis analisadas foram, na sua totalidade, positivas, e estão descritos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Análise de correlação (Pearson) para biomassa de nódulos de *Rhizobium* (g por planta) em função dos tratamentos (herbicidas), para as variáveis altura (H), biomassa da parte aérea (BPA) e biomassa radicular (BRA) em mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), em condições de casa de vegetação.

Variável	Testemunha	Glyphosate	Pendimethalin	Imazapyr	Oxyfluorfen
<b>H</b>	0,64 **	0,18 <sup>ns</sup>	0,68 **	0,63 **	0,55 *
<b>BPA</b>	0,68 **	0,06 <sup>ns</sup>	0,66 **	0,38 <sup>ns</sup>	0,71 **
<b>BRA</b>	0,49 *	0,21 <sup>ns</sup>	0,54 *	0,71 **	0,57 **

\* = significativo a 5% de probabilidade de erro; \*\* = significativo a 1% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup> = não significativo.

A biomassa de nódulos verificada no sistema radicular de mudas que receberam o herbicida Glyphosate não demonstrou correlação significativa com as demais variáveis em

análise. Este é um resultado relativamente conhecido, uma vez que o comportamento geral desse herbicida é ter sua ação pós-emergente, ou seja, não atuando efetivamente em condições de solo exposto. Em contrapartida, a correlação entre a biomassa de nódulos de rizóbio foi significativa em relação à biomassa radicular de mudas que receberam o herbicida Imazapyr (0,71). O que se verificou, na prática, foi que o sistema radicular das mudas submetidas a esse herbicida desenvolveram uma massa radicular mais consistente (grande volume de raízes finas), tendo sido este herbicida responsável pelo segundo maior incremento de nódulos de rizóbio em comparação ao tratamento Testemunha (Tabela 5.3).

O valor de 0,71 foi também verificado para a correlação entre o herbicida Oxyfluorfen e a biomassa de parte aérea, bem como para as demais variáveis, como a biomassa radicular (0,57) e a altura (0,55), tendo sido para esta última significativa em nível de  $p < 0,01$ .

Exceto para os herbicidas Glyphosate e Imazapyr com BPA, a variável biomassa de nódulos esteve correlacionada significativa e positivamente com todas as demais, ou seja, o aumento de umas das variáveis exerce um efeito direto (positivo) sobre a biomassa de nódulos radiculares de rizóbio nas mudas (Figura 5.4).



Figura 5.4 – Aspecto geral da formação de nódulos de rizóbio no sistema radicular de mudas de Acácia-negra, mediante aplicação de diferentes herbicidas, em condições de casa de vegetação. Santa Maria (RS).

A aplicação dos herbicidas não exerceu efeito maléfico quanto ao estabelecimento e desenvolvimento de nódulos de bactérias do gênero *Rhizobium* no sistema radicular de mudas de acácia-negra, evidenciando uma possível potencialização nessa relação simbiótica. Presume-se que os herbicidas testados tenham estimulado, de alguma forma, a multiplicação rizóbica no sistema radicular devido aos efeitos específicos de suas formulações comerciais, como solventes, surfactantes e adjuvantes, que podem modificar o efeito do equivalente ácido do herbicida nos organismos.

## 5.4 Conclusões

A aplicação de herbicidas no solo não exerceu efeito prejudicial à formação de nódulos radiculares de *Rhizobium* em mudas de acácia-negra.

Evidencia-se uma influência positiva dos herbicidas sobre a formação de nódulos de *Rhizobium* no sistema radicular das mudas. A formação de nódulos rizóbicos no sistema radicular foi estimulada pela aplicação dos herbicidas, com acréscimos na biomassa nodular de até 128,3%, quando comparada à biomassa de nódulos nas raízes de mudas produzidas em solo sem herbicida.

A aplicação do herbicida Oxyfluorfen resultou na maior média para biomassa de nódulos (0,532g planta<sup>-1</sup>) no sistema radicular das mudas de acácia-negra, diferindo significativamente da biomassa de nódulos presentes no sistema radicular de mudas produzidas em solo sem aplicação de herbicida (0,233g planta<sup>-1</sup>).

## 5.5 Referências Bibliográficas

BUSSE, M. D. et al. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, p. 1777-1789, 2001.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Manejo nutricional integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade dos sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A.M; ASSIS, R.L. **Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 8, p. 201-220.

GONZALEZ, N. et al. Effect of soil interacting herbicides on soybean nodulation in Balcarce, Argentina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 7, p. 1167-1173, 1999.

KING, C. A. et al. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. **Agronomy Journal**, v.93, p.179-186, 2001.

MALTY, J. S. et al. Efeito do glifosato sobre microorganismos simbiotróficos da soja, em meio de cultura e casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 285-291, 2006.

MORAES, D. M. Sensibilidade de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidas a poluentes químicos originários da atividade humana. **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n. 2, p. 38-42, 2002.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Xenobióticos no solo. In: **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras; Ed. UFLA, 2002, cap. 6, p. 243-284.

REIS, V. M.; TEIXEIRA, K. R. S. Fixação Biológica de Nitrogênio – Estado da Arte. In: AQUINO, A. M; ASSIS, R. L. **Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 6, p. 151-180.

SANTOS, A.; FLORES, M. Effects of glyphosate on nitrogen fixation of free-living heterotrophic bacteria. **Letters in Applied Microbiology**, v.20, p.349-352, 1995.

SANTOS, J. B. et al. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. **Planta Daninha**, v.22, p.293-299, 2004.

SANTOS, J. B. et al. Ação de herbicidas sobre o crescimento de estirpes de *Rhizobium* tropici. **Planta Daninha**, v.24, n. 3, p.457-465, 2006.

SINGH, G.; WRIGHT, D. *In vitro* studies on the effects of herbicides on the growth of rizóbio. **Letters in Applied Microbiology**, v.35, p. 12-16, 2002.

STRALIOTTO, R. Diversidade do Rizóbio – Evolução dos Estudos Taxonômicos. In: AQUINO, A. M; ASSIS, R. L. **Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 9, p. 221-255.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS

A sensibilidade dos invertebrados do solo aos diferentes sistemas de manejo reflete claramente o quanto uma determinada prática pode ser considerada ou não conservacionista sob o ponto de vista da estrutura física e biológica do solo. Nesse cenário, e sob as condições em que o presente trabalho foi desenvolvido, conclui-se que:

A aplicação de diferentes moléculas químicas de ação herbicida, assim como a intensidade de aplicação dessas sobre o solo, não exerce efeitos de supressão na diversidade e riqueza de grupos taxonômicos em plantios de acácia-negra.

Existem correlações significativas entre a comunidade de meso e macrofauna epiedáfica e algumas variáveis ambientais. A diversidade e a riqueza de grupos taxonômicos são claramente evidenciadas pela variação temporal determinada pelas estações de verão e outono (maior grandeza) e inverno e primavera (menor grandeza). Adicionalmente, uma boa parte da variabilidade dos grupos taxonômicos é explicada por parâmetros meteorológicos, como temperatura e regime pluviométrico.

Não houve influência direta dos herbicidas e intensidade de aplicação dos mesmos sobre os atributos físicos do solo. Ao final de um ano de avaliação, atributos como densidade, espaço ocupado por poros e diâmetro médio de agregados do solo têm suas características estruturais similares à condição original, ou seja, antes da intervenção com herbicidas. Há pouca influência do revolvimento do solo na linha de plantio em relação à entrelinha de plantio das mudas. Contudo, a rápida reacomodação natural das partículas do solo e também pela ação das raízes das mudas, ou a boa estrutura da entrelinha de plantio, podem ter contribuído para a não-diferenciação das propriedades físicas avaliadas no estudo.

Diferentes ingredientes ativos de herbicidas, quando aplicados ao substrato de produção de mudas de acácia-negra, não comprometem o equilíbrio na simbiose mutualística entre bactérias do gênero *Rhizobium* associadas ao sistema radicular das mudas, estimulando, em alguns casos, a multiplicação bacteriana no substrato.

## **CONSIDERAÇÃO FINAL**

A avaliação acerca da variedade de grupos funcionais presentes em áreas manejadas pelo homem pode ajudar a compreender quais as conseqüências esperadas a partir da exclusão de um ou mais desses grupos. Essa realidade, por si só justifica a utilização da fauna do solo, como um todo, como indicadora das modificações no ambiente.

Assim, a maior contribuição deste estudo foi fornecer bases tanto para uma avaliação global da qualidade do solo, quando o alvo for a meso e/ou macrofauna da superfície do solo, como também para apontar grupos taxonômicos para um estudo mais detalhado.