

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
NÍVEL MESTRADO

ÍRIS CRISTIANE MACHADO FRÓES DE MELLO

**RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS
AQUÁTICOS APÓS APLICAÇÃO DOS AGROTÓXICOS NAS LAVOURAS DE
ARROZ IRRIGADO NO SUL DO BRASIL.**

SÃO LEOPOLDO
JULHO DE 2013

ÍRIS CRISTIANE MACHADO FRÓES DE MELLO

**RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS
AQUÁTICOS APÓS APLICAÇÃO DOS AGROTÓXICOS NAS LAVOURAS
DE ARROZ IRRIGADO NO SUL DO BRASIL.**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa
de Pós- Graduação em Biologia da Universidade
do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Área de concentração: Diversidade e Manejo da
Vida Silvestre.

Orientadora: Dra. Cristina Stenert

SÃO LEOPOLDO
JULHO DE 2013

M527r Mello, Íris Cristiane Machado Fróes de.
Resiliência da comunidade de macroinvertebrados aquáticos após a aplicação dos agrotóxicos nas lavouras de arroz irrigado no Sul do Brasil / Íris Cristiane Machado Fróes de Mello. – 2013.
70 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós Graduação em Biologia, 2013.
"Orientadora: Dra. Cristina Stenert."

1. Áreas úmidas. 2. Lavouras de arroz. 3. Macroinvertebrados aquáticos. 4. Agrotóxicos. 5. Sucessão. I. Título.

CDU 57

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
NÍVEL MESTRADO

**RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS
AQUÁTICOS APÓS A APLICAÇÃO DOS AGROTÓXICOS NAS LAVOURAS
DE ARROZ IRRIGADO NO SUL DO BRASIL.**

ÍRIS CRISTIANE MACHADO FRÓES DE MELLO

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa
de Pós- Graduação em Biologia da Universidade
do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovado em 12 de julho de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Cristina Stenert – UNISINOS

Prof. Dr. Milton Norberto Strieder - UFFS

Prof^ª. Dr^ª. Ana Silvia Rolon - UNISINOS

Aos amores da minha vida: Eduardo e Rafael

NEOQAVs

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus por me suprir de força, coragem e fé em mais uma etapa importante da minha vida.

À Professora Cristina Stenert, pela confiança, orientação e grande exemplo.

Ao Professor Leonardo Maltchik, pela contribuição na realização deste trabalho.

Ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), pela concessão de bolsa de estudos e auxílio nas saídas a campo.

A todos os membros do Programa de Pós-Graduação em Biologia, pelo apoio, oportunidade e constante aprendizado.

À Comissão Examinadora, pela presença e contribuições.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia e Conservação de Ecossistemas Aquáticos (LECEA/UNISINOS), pela amizade, cooperação e grande contribuição na identificação de macroinvertebrados, em especial à Marina Dalzochio.

À Roberta Meneghel, a qual dividiu comigo momentos de alegria, aflição e suor. Agradeço muito por sua amizade, bom humor, companheirismo e auxílio nas mais diversas atividades.

A minha mãe Vera, pelo amor e exemplo que levarei para por toda minha vida e pelas palavras de apoio na hora certa.

E especialmente, ao meu marido Eduardo, por seu apoio, carinho e compreensão e, ao nosso filho, Rafael por ter sido um bebê comportado e tranquilo enquanto a mamãe finalizava a dissertação!

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho: muito obrigada!

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	07
-------------------	----

INTRODUÇÃO

1. Contaminação dos recursos hídricos.....	08
2. Definição, importância e perda das áreas úmidas.....	09
3. Orizicultura irrigada.....	11
4. Agrotóxicos.....	13
5. A comunidade de macroinvertebrados aquáticos dentro de um contexto agrícola...16	
6. Alternativas ao uso extensivo de agrotóxicos.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

ARTIGO

RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS AQUÁTICOS APÓS A APLICAÇÃO DOS AGROTÓXICOS NAS LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO NO SUL DO BRASIL.....	31
Resumo.....	31
Abstract.....	32
Introdução.....	33
Material e Métodos.....	37
Resultados.....	41
Discussão.....	45
Considerações Finais.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS.....	53

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho insere-se no Programa de Pós-Graduação em Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS – área de concentração em Diversidade e Manejo da Vida Silvestre e financiado pelo Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA e UNISINOS.

Esta dissertação é composta por uma introdução geral e por um capítulo em formato de artigo científico. A introdução geral contextualiza aspectos importantes sobre as áreas úmidas naturais e arrozais no mundo e no Sul do Brasil. O objetivo geral do capítulo foi avaliar a resiliência da comunidade de macroinvertebrados aquáticos em lavouras de arroz irrigado após a utilização de agrotóxicos, comparando simultaneamente a dinâmica da comunidade nas áreas úmidas naturais. As conclusões gerais e as considerações finais do presente estudo estão fundamentadas nos resultados encontrados e discutidos com base em artigos científicos já existentes.

INTRODUÇÃO

1. Contaminação dos recursos hídricos

As últimas décadas foram marcadas por um aumento da preocupação com os problemas ambientais, resultantes do processo contínuo de degradação dos recursos naturais (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMDA, 1988). O efeito da degradação ambiental nos recursos hídricos constitui uma das principais preocupações do homem na atualidade. A poluição desses ecossistemas tem se tornado um problema frequente, principalmente pelas suas consequências mais evidentes, tais como: a escassez de fontes limpas para abastecimento e a mortandade dos organismos. Os sistemas agrícolas são apontados como um dos principais responsáveis por distúrbios nos ecossistemas hídricos (Parris, 2002). Entre os impactos associados a esta atividade destacam-se o desmatamento, a consequente erosão dos solos e a contaminação não pontual das águas por resíduos de fertilizantes e pesticidas (Ongley, 1997).

A contaminação dos ecossistemas aquáticos por agrotóxicos é uma preocupação constante das agências ambientais e de saúde pública, uma vez que os métodos usuais de tratamento de água podem não ser capazes de remover esses produtos (Barbosa, 2004; Faria et al., 2007). Devido à natureza integrada das redes hidrográficas, e ao fluxo constante, a contaminação de corpos d'água pode ser observada a quilômetros de distância das áreas fonte. Mesmo conhecendo os diversos riscos provenientes da exposição crônica a pesticidas, tais como, a mutagenicidade, as alterações no sistema reprodutivo e endócrino, o comprometimento do sistema imune, entre outros (Ecobichon, 1991; Paumgartten, 1998; Repetto & Baliga, 1996), o controle e

monitoramento da poluição por agrotóxicos ainda são um desafio, pois a dinâmica de contaminação é intermitente e difusa, e em geral resultante da utilização de mais de um produto simultaneamente.

Segundo a Conferência Internacional de Água e Desenvolvimento Sustentável realizada em Dublin, na Irlanda em 1992, a escassez e mau uso da água doce representam sérios e crescentes problemas que ameaçam o desenvolvimento sustentável e a proteção do ambiente. Saúde humana e bem estar, produção segura de comida, desenvolvimento industrial e ecossistemas dos quais estes dependem, estão todos ameaçados a menos que os recursos de água doce e solo sejam utilizados de forma mais eficiente nas próximas décadas, e muito mais do que tem sido até agora. Em vista disso, o monitoramento dos recursos hídricos se destaca como um requerimento essencial para assegurar o desenvolvimento da economia, a qualidade de vida e a preservação do meio ambiente.

2. Definição, importância e perda das áreas úmidas

Áreas úmidas são complexos ecossistemas que apresentam alta diversidade biológica, englobando desde as áreas marinhas e costeiras até as continentais e as artificiais. Apresentam características físicas e químicas que determinam funções essenciais ao equilíbrio e à sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos (Barker et al., 1996). Devido a sua importância, em 1971, a Convenção de Ramsar estabeleceu a missão de fomentar a conservação e o uso sustentável das áreas úmidas por meio de ações nacionais e cooperação internacional, para atingir o desenvolvimento sustentável no mundo (Davis et al., 1996) e definiu áreas úmidas como sendo:

extensões de brejos, pântanos e turfeiras, ou superfícies cobertas de água, sejam de origem natural ou artificial, permanentes ou

temporárias, estancadas ou correntes, doces, salobras ou salgadas, incluídas as extensões de água marinha cuja profundidade na maré baixa não exceda os seis metros (RAMSAR Convention on Wetlands, 2009).

O regime hidrológico, a vegetação aquática e os solos hidromórficos são reconhecidos como os principais indicadores ambientais utilizados na identificação das áreas úmidas. Além disso, a definição proposta pelo “National Research Council” considera diversos grupos de animais, além da vegetação aquática, como sendo indicadores desses ecossistemas (National Research Council, 1995).

Para a Convenção de Ramsar e a UNESCO, as áreas úmidas são a infraestrutura natural de água no mundo, propiciando fonte limpa e estoque de água doce. Por conseguinte, sua perda e degradação intensificam diretamente os problemas de fornecimento de água, comprometendo o bem-estar humano. Por outro lado, seu manejo adequado pode ajudar a solucionar problemas de escassez e de segurança hídrica (Magela, 2013).

As áreas úmidas armazenam e reciclam nutrientes continuamente, dando suporte à macro e micro vegetação abundante, a qual converte matéria inorgânica em orgânica, produzindo uma importante fonte de alimento animal (Hammer, 1989). Quanto às funções das áreas úmidas, podem-se destacar: retenção, exportação e remoção de nutrientes, recarga e descarga subterrânea, controle de inundações e regulação do fluxo hidrológico, retenção de sedimentos, controle de erosão, controle de salinidade, tratamento de água, e estabilidade do clima (Owen et al.,1998; Roggeri, 1995; Erickson,1994; Niering,1992).

Apesar das áreas úmidas apresentarem uma alta biodiversidade e produtividade, além de suas várias funções e valores, estima-se que cerca de 50% das áreas úmidas naturais foram perdidas e essa diminuição está atrelada ao crescimento da população

humana e ao conseqüente aumento da demanda na agricultura e na expansão urbana (Mitsch & Gosselink, 2000; Czech & Parsons, 2002; Amazaga, 2002). A Nova Zelândia e muitos países da Europa perderam mais de 90% de suas áreas úmidas (Dugan, 1993). No Sul do Brasil, dados conservativos apontam que aproximadamente 90% das áreas úmidas naturais já foram destruídas principalmente devido à expansão agrícola, especialmente de lavouras de arroz irrigado (Maltchik et al., 2003; Gomes & Magalhães, 2004).

3. Orizicultura irrigada

A agricultura, através da irrigação, é a atividade que mais consome água em nível mundial, utilizando cerca de 70% da água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos (Gomes et al., 2004). A orizicultura constitui atualmente uma das principais atividades agrícolas responsáveis pelo desaparecimento das áreas úmidas naturais, visto que as lavouras de arroz irrigado eram, em sua grande maioria, áreas úmidas naturais que foram modificadas para produção de grãos (Fernando, 1993). Além disso, a cultura do arroz irrigado destaca-se como sendo uma das mais exigentes em termos de recursos hídricos: necessita de 1.900 a 5.000 litros de água para produzir 1 (um) kg de grãos (Gomes et al., 2004).

Por outro lado, a produção de arroz é a principal fonte de cereais para mais da metade da população mundial (Juliano, 1993; Roger, 1996; FAO, 1999). O arroz é cultivado e consumido em todos os continentes, e destaca-se pela produção e área de cultivo, desempenhando papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social. Em 2011/2012, cerca de 160 milhões de hectares de arroz foram cultivados no mundo,

produzindo 462 milhões de toneladas, sendo que mais de 80% desta produção foi oriunda do sistema de cultivo irrigado (Conselho Internacional de Grãos – IGC, 2013).

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos mais importantes grãos em termos de valor econômico, sendo considerada a espécie que apresenta maior potencial para o combate a fome no mundo, pois fornece 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem. Além disso, o arroz é o cultivo alimentar de maior importância em muitos países em desenvolvimento, principalmente na Ásia e Oceania, onde vivem 70% da população total dos países em desenvolvimento e cerca de dois terços da população subnutrida mundial. É o alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas e, segundo estimativas, até 2050, haverá uma demanda para atender ao dobro desta população (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2006).

O Brasil se destaca como o maior produtor fora do continente Asiático, sendo o arroz cultivado através de dois sistemas: de várzea (irrigado) e de terras altas (sequeiro) (Azambuja et al., 2004). O setor arroseiro é o quarto maior em produção de grãos no país. A produção brasileira de arroz na safra 2011/2012 foi de 12,1 milhões de toneladas (Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2012). O Rio Grande do Sul contribui com aproximadamente 78% do arroz cultivado pelo sistema irrigado no Brasil. A lavoura de arroz irrigado é a principal cultura do Estado participando com 40% da produção gaúcha de grãos e sua safra compara-se à safra média de países como Austrália, Japão e EUA (Azambuja et al., 2004). O arroz irrigado ocupou na safra de 2010/2011 uma das maiores áreas já cultivadas pelos arroseiros gaúchos: 1,2 milhão de hectares semeados, com incremento de área em todas as regiões arroseiras do estado. A safra atingiu um recorde histórico de aproximadamente 9 milhões de toneladas de arroz. Já, na safra 2011/2012, o Estado obteve produção de 7,7 milhões de toneladas de arroz,

redução de 14,3% na comparação com a safra anterior, decorrente da escassez de recursos hídricos (Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA, 2012).

Contudo, essa elevada produtividade também é responsável pelo aumento na demanda de aplicação de agrotóxicos (herbicidas, inseticidas e fungicidas) (Molozzi et al., 2006), os quais, devido ao sistema de produção do Estado, que utiliza irrigação por inundação, podem vir a contaminar os mananciais hídricos (Marchezan et al., 2007). Além disso, o método de irrigação por inundação contínua pode provocar alterações hidrológicas, visto que uma elevada demanda de água é fornecida por levantes hidráulicos que bombeiam água de áreas úmidas naturais para um sistema de canais de distribuição. Essas alterações dos níveis d'água podem levar a mudanças significativas nas funções das áreas úmidas e nas comunidades aquáticas (Motta Marques et al., 2002).

4. Agrotóxicos

Na busca pelo controle das pragas agrícolas, tem-se utilizado produtos fitossanitários de alta toxicidade e largo espectro de ação. Centenas de agrotóxicos com diferentes estruturas químicas são utilizados mundialmente na agricultura e, embora sejam considerados essenciais para uma produção satisfatória, alguns deles podem contaminar ambientes e impactar a biota, principalmente a aquática (Bretaud et al., 2000; Weis et al., 2001; Das et al., 2003; Friberg et al., 2003; SOSBAI, 2005; Carvalho, 2006). Os agrotóxicos possuem em sua composição substâncias químicas tóxicas, denominadas ingredientes ativos, que interferem na atividade biológica normal dos seres vivos aos quais são expostos. O ingrediente ativo é o agente químico, físico ou biológico que confere eficácia aos agrotóxicos e afins (Brasil, 2008). Os agrotóxicos são

biocidas raramente seletivos, atingindo tanto organismos considerados praga quanto aqueles que não são alvo de controle na lavoura (Conway & Pretty, 1991). A Lei Federal nº 7.802 de 11/07/89, regulamentada pelo Decreto 98.816 de 11/01/90, no seu Artigo 2º, Inciso I, define o termo AGROTÓXICO:

Os produtos e os componentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou implantadas e de outros ecossistemas e também em ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora e da fauna, a fim de preservá-la da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento (Brasil, 2008).

O manejo de pragas e doenças, de um modo geral, tem sido focado mais no aspecto econômico do que no ambiental (Barrigossi et al., 2004). A contaminação por pesticidas representa a principal fonte de poluição da água em diversos países e uma ameaça constante para biodiversidade e para o equilíbrio dos ecossistemas naturais. O problema é agravado dada a grande extensão de terras ocupadas para atividades agrícolas, o que amplia consideravelmente as chances de espécies não-alvo (inclusive as populações humanas) serem afetadas (Egler, 2002).

O consumo mundial de agrotóxicos sofreu um rápido incremento na segunda metade do século XX. Estima-se que, em 1992, a América do Norte e a Europa Ocidental consumiram mais da metade dos agrotóxicos produzidos mundialmente, regiões estas que abrigam um pouco mais que 25% das terras globais ocupadas com agricultura (Yudelman et al, 1998). O aumento do uso de agrotóxicos e fertilizantes no Brasil ocorreu a partir da década de 1970, após a inserção de políticas governamentais de incentivo ao uso de tais produtos. Naquela época, era oferecido aos trabalhadores

rurais um financiamento destinado à compra de sementes, havendo, contudo, a pré-condição do direcionamento de uma parcela dos recursos concedidos para a compra de agrotóxicos e fertilizantes (Araújo et al, 2007).

Em 2008, o Brasil assumiu o posto de maior mercado consumidor de agrotóxicos do mundo. Segundo um levantamento feito pelo Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG), as vendas de agrotóxicos somaram US\$ 7,13 bilhões diante de US\$ 6,60 bilhões do segundo colocado, os Estados Unidos (Associação Nacional de Defesa Vegetal – ANDEF, 2009). Dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do Observatório da Indústria dos Agrotóxicos da UFPR, divulgados durante o 2º Seminário sobre Mercado de Agrotóxicos e Regulação, realizado em Brasília (DF), em abril de 2012, apontam que enquanto, nos últimos dez anos, o mercado mundial de agrotóxicos cresceu 93%, o mercado brasileiro cresceu 190% (Figura 1).

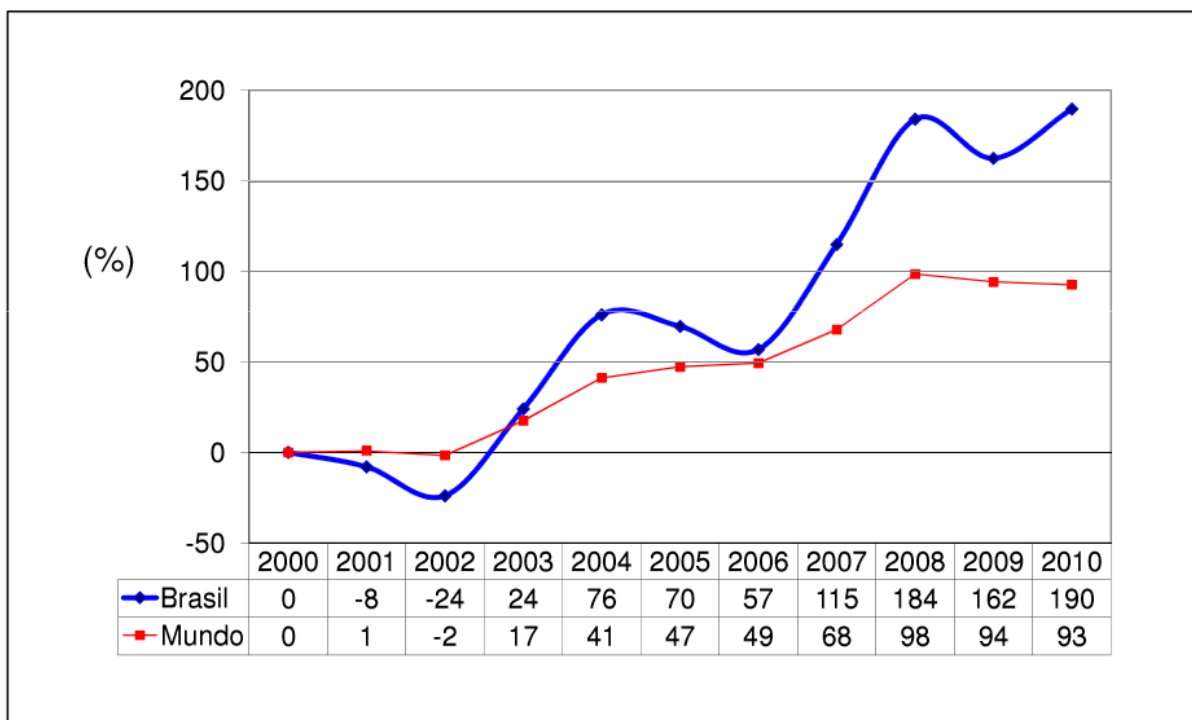


Figura 1: Taxa de crescimento das vendas de agrotóxicos no Brasil e no mundo – 2000 – 2010. (Pelaez et al., 2012).

O processo produtivo agrícola brasileiro está cada vez mais dependente dos agrotóxicos e fertilizantes químicos. Segundo a Sociedade Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2005), são recomendados para a cultura do arroz irrigado no Brasil 23 ingredientes ativos de herbicidas (comercializados isoladamente ou em mistura na forma de 37 produtos comerciais), 14 ingredientes ativos de inseticidas (25 produtos comerciais) e 25 ingredientes ativos de fungicidas (40 produtos comerciais). Na safra de 2011, no Brasil, foram plantados 71 milhões de hectares de lavoura temporária (soja, milho, cana, algodão e arroz) e permanente (café, cítricos, frutas, eucaliptos), o que correspondeu a cerca de 853 milhões de litros (produtos formulados) de agrotóxicos pulverizados nessas lavouras, principalmente de herbicidas, fungicidas e inseticidas, representando média de uso de 12 litros/hectare e exposição média ambiental/ocupacional/alimentar de 4,5 litros de agrotóxicos por habitante (IBGE/SIDRA, 2012; SINDAG, 2011).

5. A comunidade de macroinvertebrados aquáticos dentro de um contexto agrícola

O termo “macroinvertebrado” se refere à fauna de invertebrados que fica retida em uma malha com abertura de 0,5 mm de diâmetro, sendo ela constituída por diversos táxons, tais como Platyhelminthes, Nematoda, Annelida, Mollusca e Arthropoda, dentre outros (Callisto et al., 2001; Maenpaa et al., 2003). Essa comunidade constitui um importante componente na manutenção da diversidade biológica dos ecossistemas aquáticos, sendo fundamental para a dinâmica de nutrientes, a transformação de matéria e o fluxo de energia (Callisto & Esteves, 1995).

Embora a expansão de lavouras de arroz irrigado seja responsável, em parte, pelo desaparecimento ou fragmentação das áreas úmidas naturais, muitas espécies de

invertebrados, principalmente pertencentes aos grupos de crustáceos, insetos, moluscos e anelídeos, têm se estabelecido em lavouras cultivadas com o arroz, no sistema irrigado, em diversos países do mundo (Lim, 1980). Em lavouras de arroz, os macroinvertebrados são extremamente importantes para a fertilidade do solo e no controle natural de espécies consideradas pragas (Roger et al., 1987; Pingali & Roger, 1995; Lavelle et al., 1997).

Em um levantamento realizado em diversos arrozais no Sri Lanka, os macroinvertebrados representaram 68% do número total de espécies encontradas (Bambaradeniya et al., 2004). Esses organismos colonizam os arrozais através de estruturas de resistência mantidas no solo, pelo ar e pela água necessária para a irrigação através do intercâmbio existente entre as áreas úmidas naturais adjacentes e as lavouras de arroz (Fernando et al., 1993).

Segundo Berenzen et al. (2005), a distribuição e a densidade de macroinvertebrados são influenciadas por vários fatores, entre eles poluição orgânica, degradação de habitat, uso de agrotóxicos, entre outros. Estes animais apresentam duas estratégias de adaptação ao regime de instabilidade dos ecossistemas: a resiliência e a persistência. Resiliente é a biota que apresenta capacidade de recuperação rápida após uma perturbação enquanto, persistente é a biota que demonstra uma boa capacidade de resistência a distúrbios (Winterbotton et al., 1997). Devido a essas características, esses organismos são considerados bioindicadores porque, em determinadas condições ambientais, os grupos mais resistentes podem se tornar numericamente dominantes, enquanto outros mais sensíveis podem se tornar raros ou ausentes (Brigante et al., 2003), permitindo, desta forma, uma avaliação integrada dos efeitos ecológicos causados por múltiplas fontes de poluição.

Os macroinvertebrados aquáticos vêm sendo amplamente utilizados inclusive para se avaliar toxicidade e bioacumulação de agrotóxicos (Bonzini et al. 2008). Os impactos da contaminação por pesticidas variam de acordo com os tipos de substâncias empregadas, com a sua toxicidade, e com a estabilidade nos ambientes aquáticos. Os efeitos sobre a fauna incluem desde alterações fisiológicas em alguns organismos, até a morte maciça de populações, afetando toda a estrutura da comunidade (Clements, 2000). Os agrotóxicos usados extensivamente na lavoura arrozeira são em concentrações geralmente abaixo dos níveis letais para a maioria dos organismos aquáticos, constituindo-se em fonte não pontual de contaminação e, uma vez aplicados, excedem a função de combate específico, espalhando-se por todo o meio líquido, sendo difícil conter sua dispersão. A maior parte dos macroinvertebrados aquáticos é afetada pela ação não-seletiva dos pesticidas, pois são grupos intimamente relacionados aos organismos alvo destes compostos (inseticidas, acaricidas, moluscicidas). Assim, dependendo da especificidade de ação destas substâncias, das concentrações encontradas e das condições de exposição para fauna, a ocorrência de danos sobre as comunidades aquáticas será inevitável (Maund et al., 1997).

Quando lançadas nos ecossistemas aquáticos, os agrotóxicos são capazes de interagir com o organismo vivo, causando múltiplas alterações que podem gerar graves desequilíbrios ecológicos nos agroecossistemas, provocando fenômenos como ressurgência de pragas, aumento de grupos secundários e seleção de populações de insetos resistentes (Nakano, 1986; Gerson e Cohen, 1989; Soares et al., 1995) que são, muitas vezes, atribuídas à alta mortalidade de predadores e parasitoides (Prasifka et al., 2008). Estudos indicaram que o uso de inseticidas para o controle de pragas agrícolas, e também de herbicidas e fertilizantes, é capaz de modificar a estrutura das cadeias alimentares presentes em lavouras de arroz, especialmente de invertebrados,

repercutindo negativamente, inclusive na comunidade de invertebrados considerados benéficos para as lavouras orizícolas (Simpson & Roger, 1995; Mesléard et al., 2005). O aumento da carga de agrotóxicos na coluna d'água provoca, também, o aumento da turbidez, comprometendo a eficiência respiratória de algumas espécies, como ocorre com as ordens de insetos Ephemeroptera e Plecoptera (Lemly, 1982), além de causar uma redução na produtividade primária de algas e hidrófitas, afetando diretamente a cadeia alimentar.

Na Europa, pesquisas indicaram que a abundância e a diversidade de diferentes comunidades biológicas são maiores em lavouras orgânicas em comparação com lavouras convencionais de diferentes tipos de cereais, como por exemplo, de plantas e insetos (Hald & Reddersen 1990), e aves (Chamberlain et al. 1998). Wilson et al. (2008) demonstraram que lavouras de arroz cultivadas sem agrotóxicos apresentaram uma maior diversidade de macroinvertebrados aquáticos em comparação àquelas cultivadas convencionalmente com a utilização de pesticidas na Austrália. Estudos abordando a influência da cultura orizícola sobre a diversidade de macroinvertebrados foram realizados na Espanha, onde foram detectados elevados índices de contaminação orgânica no entorno de arrozais, resultando em uma redução na diversidade dessa comunidade (Carballo, 2005).

O Brasil tem uma grande diversidade de ecossistemas naturais que estão atualmente, submetidos à agricultura intensiva (Caldas & Souza, 2000). A transformação de ecossistemas naturais em agroecossistemas certamente provoca a perda de hábitat original (Queiroz et al., 2007) e por isso, a agricultura tem sido apontada como um dos maiores contribuintes à redução da biodiversidade. No entanto, no Sul do Brasil, são escassos os estudos abordando a influência dos agrotóxicos sobre as comunidades biológicas nas lavouras orizícolas. Os primeiros trabalhos de

monitoramento iniciaram-se em meados da década de noventa pela EMBRAPA Meio Ambiente/EMBRAPA Clima Temperado e EPAGRI/Estação Experimental de Itajaí (SC), e mais recentemente, pelo Grupo de Manejo Sustentável de Várzeas/Departamento de Química da UFSM/IRGA e Universidade Federal de Pelotas.

O uso da biodiversidade como ferramenta para avaliar a estrutura, a transformação e a destruição da paisagem é um componente importante das estratégias aplicadas às áreas rurais, manejadas, industriais e urbanizadas, para reduzir o impacto humano e diminuir a poluição (Reaka-Kudla et al. , 1997). O estudo da biodiversidade associada aos agroecossistemas como os arrozais é de grande valia para a comunidade científica, uma vez que a manutenção da diversidade biológica é essencial para uma agricultura produtiva; e uma agricultura sustentável é, por conseguinte, essencial para a conservação da biodiversidade (Pimentel et al., 1992).

6. Alternativas ao uso extensivo de agrotóxicos

As diferentes práticas de manejo agrícola podem afetar o valor que os arrozais possuem para a manutenção da biodiversidade, e, sendo assim, os pesquisadores devem trabalhar na conscientização dos produtores para utilizarem métodos que não comprometam o estabelecimento de espécies de áreas úmidas naturais nos cultivos (Lawler, 2001). A preocupação de aumentar a produtividade das áreas agrícolas com qualidade ambiental representa uma das práticas de sustentabilidade do agronegócio, evitando a redução da fertilidade do solo e o desperdício de água e, ainda, protegendo a biodiversidade da região. A produção mais limpa, segundo ANA – Agência Nacional de Águas, (2009), tem o intuito de evitar a dispersão de resíduos de agrotóxicos, lubrificantes, combustíveis, adubos, sementes e de embalagens de produtos químicos.

Na lavoura orizícola é crescente a preocupação da adequação dos sistemas de produção com o meio ambiente. Hoje, existem técnicas de manejo que buscam a sustentabilidade na lavoura de arroz, dentre as quais, destacam-se:

- I. O Projeto 10 consiste na implantação de tecnologias para a obtenção de altas produtividades, com sustentabilidade, assistido por um técnico capacitado (Menezes et al., 2004). O P10 faz parte do Programa Arroz RS, visando o aumento de competitividade e de sustentabilidade na produção de arroz no RS (ANA, 2009).
- II. O Selo Ambiental da Lavoura de Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul visa reconhecer aqueles produtores cujos manejos da lavoura de arroz e da propriedade rural estejam em conformidade com a legislação ambiental e que desenvolvam ações para a melhoria da qualidade de vida dos envolvidos na atividade agrícola (Menezes et al., 2004).
- III. A agricultura de precisão é a tecnologia que tem como objetivo o aumento da eficiência produtiva, através do manejo diferenciado de áreas na agricultura, aplicando-se insumos precisamente no local correto, no momento adequado e nas quantidades necessárias à produção agrícola.
- IV. A rotação de culturas corresponde à alternância regular e ordenada no cultivo de espécies vegetais, no decorrer do tempo, numa mesma área agrícola.
- V. O tratamento de sementes consiste em uma alternativa que auxilia no controle de pragas, beneficiando assim o meio ambiente devido à menor necessidade da utilização de agrotóxicos.
- VI. O controle de pragas por inimigos naturais mantém a estabilidade de sistemas agrícolas e pode reduzir os custos do manejo (Stimer e House, 1990). Como forma de preservação desses organismos recomenda-se o Manejo Integrado de

Pragas (MIP), que enfatiza abordagens ecológicas para estabelecer soluções permanentes para o problema das pragas, ao fornecer estrutura para o desenvolvimento de programas de manejo. O MIP utiliza táticas preventivas, como conservação de inimigos naturais das pragas, métodos culturais e resistência de plantas, além do monitoramento frequente das pragas (Reissig et al., 1986; Zehnder et al., 2007).

De acordo com as orientações da SOSBAI (2010), o sistema de produção adotado pelo produtor deve priorizar a utilização de métodos naturais, agronômicos, biológicos e biotecnológicos de controle de pragas e doenças, minimizando o uso de produtos químicos. Assim, as Boas Práticas Agrícolas (BPAs), no contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP), mostram-se aliadas ao uso racional de agrotóxicos. Os tratamentos fitossanitários devem ser feitos somente com produtos registrados no Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA) e recomendados pela pesquisa, atendendo as recomendações do rótulo e o prazo de carência dos produtos. O produtor deve usar o mínimo desses produtos, somente se justificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Conservação de água e preservação ambiental nas lavouras de arroz do Rio Grande do Sul: produção mais limpa*. Agência Nacional de Águas; Instituto Rio Grandense do Arroz. Brasília: Ana, 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA & UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR. *Seminário de mercado de agrotóxico e regulação*. ANVISA, Brasília, 11 abril de 2012.
- AMEZAGA, J.M., SANTAMARÍA, L. & GREEN, A.J. *Biotic wetland connectivity – supporting a new approach for wetland policy*. *Acta Oecologica*, n.23 p.213-222. 2002.
- ARAÚJO, AJ. et al. *Exposição múltipla a agrotóxicos e efeitos à saúde: estudo transversal em amostra de 102 trabalhadores rurais, Nova Friburgo, RJ*. *Ciência e Saúde Coletiva*, 2007, 12(1): 115-130.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL – ANDEF. *Tecnologia em primeiro lugar: o Brasil a caminho de se tornar o maior produtor mundial de grãos*. *Revista Defesa Vegetal*, Maio de 2009.
- AZAMBUJA IHV, VERNETTI FJ Jr, MAGALHÃES AM Jr (2004) *Aspectos socioeconômicos da produção do arroz*. In: Gomes AS, Magalhães AM Jr (eds) *Arroz Irrigado no Sul do Brasil (Irrigated Rice in Southern Brazil)*. Embrapa, Pelotas, pp 23– 44.
- BAMBARADENIYA, CNB., EDIRISINGHE, JP., DE SILVA, DN., GUNATILLEKE, CVS., RANAWANA, KB. & WIJEKOON, S., 2004. *Biodiversity associated with an irrigated rice agroecosystem in Sri Lanka*. *Biodivers. Conserv.*, vol. 13, no. 9, p. 1715–1753.
- BARBOSA, L.C.A. *Os pesticidas, o homem e o meio ambiente*. Viçosa: UFV, 2004. 215p.
- BERENZEN, N., KUMKE, T., SCHULZ, H., SCHULZ, R. 2005. *Macroinvertebrate community structure in agricultural streams: impact of runoff-related pesticide contamination*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 37-46.
- BARRIGOSI, J. A. F.; LANNA, A.C. & FERREIRA, E. 2004. *Agrotóxicos no cultivo do arroz no Brasil: análise do consumo e medidas para reduzir o impacto ambiental negativo*. Circular Técnica 67. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Recursos Genéticos e Biotecnologia (EMBRAPA), Santo Antônio de Goiás. 8p.

- BARKER, J. R., BAUMGARDNER, G. A., TURNER, D. P., Lee, J. J. 1996. *Carbon dynamics of the conservation and wetland reserve programs*. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (4): 340-346.
- BRASIL. *Lei nº 7802, de 11 de julho de 1989*. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7802.htm>. Acesso em: 05/03/2013.
- BRASIL – Ministério da Saúde, 2008. *Vigilância Ambiental em Saúde*. Disponível: <http://portal.saude.gov.br/saude/visualizar_texto.cfm?idtxt=21206> Acesso em: 24/03/2013.
- BONZINI, S. et al. *Effects of river pollution on the colonization of artificial substrates by macrozoobenthos*. Aquatic Toxicology, v.89, p.1-10, 2008.
- BRIGANTE, J.; DORNFELD, C.B.; NOVELLI, A. & MORRAYE, M.A. *Comunidade de macroinvertebrados bentônicos no rio Mogi-Guaçu*. p.181-187 In: Brigante, J. & Espíndola, E.L.G. (org.), *Limnologia fluvial*. Editora RIMA. São Carlos – SP. 2003.
- BRETAUD, S.; TOUTANT, J.P.; SAGLIO, P. *Effects of Carbofuran, diuron and nicosulfuron on Acetylcholinesterase Activity in Goldfish (Carassius auratus)*. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 47,117-124, 2000.
- CALDAS, E; SOUZA, L.C.de. *Avaliação de risco crônico da ingestão de resíduos de agrotóxicos na dieta brasileira*. Revista Saúde Pública, São Paulo, Vol. 34, n.5, p.529-537, 2000.
- CALLISTO, M. et al. *Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.6, p.71-82, 2001.
- CARBALLO, L.M. *Aproximación limnológica al grado actual de conservación del Brazo del Este*. Plegadis. 8. 2005.
- CARVALHO, F.P. *Agriculture, pesticides, food security and food safety*. Environment Science e Policy, Vol. 9 (7-8) , 685-692, 2006.
- CHAMBERLAIN, DE., WILSON, JD. & FULLER, RJ., 1998. *A comparison of bird populations on organic and conventional farm systems in southern Britain*. Biological Conservation 1999: 307-320.
- CLEMENTS, W. H. 2000. *Integrating effects of contaminants across levels of biological organization*. Journal of Ecosystem Stress and Recovery 7:113-116. 2000.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Instrumentos de Política Agrícola*. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em: 08/12/2012.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CMMDA. *Nosso Futuro Comum*. 1ª ed. São Paulo. Editora da Fundação Getúlio Vargas. 1988.
- CONSELHO INTERNACIONAL DE GRÃOS – IGC, 2013. Disponível em: <http://agricultura.ruralbr.com.br/noticia/2012/05/producao-global-de-arroz-deve-subir-para-467-milhoes-de-toneladas-na-safra-2012-2013-diz-igc-3772279.html> Acesso em: 22 de abril de 2013.
- CONWAY, GR. & PRETTY, JN. *Unwelcome harvest: Agriculture and pollution*. London: Earthscan Publications. 1991.
- CZECH, HA. & PARSONS, KC., 2002. *Agricultural wetlands and waterbirds: a review*. Waterbirds, vol. 25, Special publication, p. 56-65.
- DAS, A.C. et al. *Influence and persistence of phorate and Carbofuran inseticides on microorganisms in rice field*. *Chemosphere*, Vol. 53, 1033-1037, 2003.
- DAVIS TJ, BLASCO D, CARBONELL M. *Manual de la Convencion de Ramsar. Una guia a la Convencion sobre los humedales de importancia internacional. Oficina de la Convención de Ramsar*, Gland.1996.
- DUGAN, P., 1993. *Wetlands in Danger: A World Conservation Atlas*. New York: Oxford University Press.
- ECOBICHON, D. J. 1991. Toxic Effects of Pesticides. pp. 643- 686. In HAYES, W. J. & LAWS, E. R. (eds) *Handbook of pesticide toxicology*. Academic Press Inc. San Diego, California.
- EGLER, M. 2002. *Utilizando a Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos na Avaliação da Degradação Ambiental de Ecossistemas de Rios em Áreas Agrícolas*. RJ, Brasil. xviii, 147p. Dissertação de mestrado em Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública., FIOCRUZ.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECÁRIA – EMBRAPA. *Cultivo de Arroz em Terras Central*. 2003 . Disponível Altas, 2006. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerra sAltas/mercado.htm>> Acesso em: 10/07/2012.
- ERICKSON, P.A. (1994). *A practical guide to environmental impact assessment*. San Diego, Academic Press. 266 p.
- FARIA, M.F. et al. *The use of larvae to assess effects of pesticides from rice fields in adjacent freshwater ecosystems*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.67, p. 218- 226, 2007.

- FAO Stat, 2008. FAO Statistical Databases. Available online at <http://apps.fao.org>.
- FERNANDO, C.H. 1993. *A bibliography of references to rice field aquatic fauna, their ecology and rice-fish culture*. State university New York, Geneseo, New York and University Waterloo. 110p.
- FRIBERG, N. et al. *Macroinvertebrate, sediment relationships along a pesticide gradient in Danish streams*. Hydrobiologia, Vol. 494, 103-110, 2003.
- GERSON, V.; COHEN, E. 1989. *Ressurgences of spider mites (Acari: Tetranychidae) induced by synthetic pyrethroids*. Experimental Applied Acarology, 6: 29-46
- GOMES AS, MAGALHÃES AMD Jr (2004) *Arroz Irrigado no Sul do Brasil (Irrigated Rice in Southern Brazil)*. Embrapa, Pelotas.
- GOMES, AS., PAULETTO, EA., VERNETTI, Jr., FJ. & SOUSA, RO., 2004. *Plantio direto e cultivo mínimo em arroz irrigado*. In: GOMES, AS. & MAGALHÃES, JAM. (Eds.). *Arroz irrigado no Sul do Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- HALD, AB. & REDDERSEN, J., 1990. *Fuglefode i kornmarker - insekter og vilde planter*. Miljøprojekt 125, Miljøministeriet, Miljøstyresen, København, Denmark.
- HAMMER, D. A. (ed.). (1989). *Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural*. Proceedings from the First International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Chattanooga, Tennessee, 13 - 17 June, 1988. Chelsea, Lewis Publishers, Inc., 1989. 819 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE/SIDRA. *Brasil, série histórica de área plantada; série histórica de produção agrícola; safras 1998 a 2011*. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>. Acesso em: 20/10/2012.
- INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. *Lavoura Arrozeira - Porto Alegre*, v.60 - número 458 - Agosto 2012 pág. 21.
- JULIANO, BO., 1993. *Rice in human nutrition*. Philippines: Food and Agriculture Organization (FAO) and International Rice Research Institute (IRRI).
- LAVELLE, P., BIGNELL, D., LEPAGE, M., WOLTERS, V., INESON, P., HEAL, O.W. & DHILLION, S. *Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers*. European Journal of Soil Biology, n.33. p.159-193. 1997.
- LAWLER S.P. *Rice fields as temporary wetlands: a review*. Israel Journal of Zoology, n.7. p.513–528. 2001.

- LEMLY, A. D. 1982. *Modification of benthic insect communities in polluted streams: combined effects of sedimentation and nutrients enrichment*. *Hydrobiologia*, 87, 229-245.
- LIM, RP. *Population changes of some aquatic invertebrates in ricefields*. In: *Tropical Ecology and Development. Proceedings of the 5th International Symposium of Tropical Ecology*. Kuala Lumpur: International Society of Tropical Ecology. 1980.
- MÄENPÄÄ, K.A. et al. *Bioaccumulation and toxicity of sediment associated herbicides (ioxynil, pendimethalin and bentazone) in Lumbriculus variegates (Oligochaeta) and chironomus riparius (Insecta)*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.56, p.398-410, 2003.
- MAGELA, G. 2013. *Áreas úmidas cuidam da água*. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/?uNewsID=33603>> Acesso em: 24 de abril de 2013.
- MALTCHIK L (2003) *Three new wetlands inventories in Brazil*. *Interciencia* 28:421–423.
- MARCHEZAN, E., et al. *Rice herbicide monitoring in two Brazilian rivers during the rice growing season*. *Scientia Agricola*, v.64, n.2, p.131-137, 2007.
- MAUND, S. J., SHERRATT, T. N. & STICKLAND, T. 1997. *Ecological considerations in pesticide risk assessment for aquatic ecosystems*. *Pesticide Science* 47: 185-190.
- MENEZES, V.G. et al. *Manual do projeto 10: estratégias de manejo para o aumento de produtividade, competitividade e sustentabilidade da lavoura de arroz do RS*. Porto Alegre: INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ, 2004. 32p.
- MESLÉARD, F., GARNERO, S., BECK, N., ROSECCHI, E. 2005. *Uselessness and indirect negative effects of an insecticide on rice field invertebrates*. *C. R. Biologies*, 328: 955-962.
- MITSCH, W.J. & GOSSELINK, J.G. *Wetlands*. John Wiley & Sons, New York. 2000.
- MOLOZZI, J.; PINHEIRO, A.; SILVA, M. R. 2006. *Qualidade da água em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz irrigado*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(9):1393-1398.
- MOTTA Marques, D. M. L. (coord.). *Sistema Hidrológico do Taim Site 7 - Relatório PELD/CNPq Outubro 2001/Setembro 2002*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 43p.
- NAKANO, O. 1986. *Avanços na prática do controle de pragas*. *Informação Agropecuária*, 12: 55-59.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995. *Wetlands: characteristics and boundaries*. Washington: National Academy.

- NIERING, W. A. (1992). *Wetlands - The Natural Audubon Society Natural Guides*. 5.ed. New York, Chanticleer Press. 638 p.
- ONGLEY, E.D., 1997. *Matching water quality programs to management needs in developing countries: the challenge of program modernization*. European Water Pollution Control, Vol. 7, No. 4, 43-48.
- OWEN, O. S.; CHIRAS, D. D.; REGANOLD, J. P. (1998). *Natural Resource Conservation - Management for a Sustainable Future*. 7.ed. New Jersey: Prentice- Hall, Inc., 1998. 594 p.
- PARRIS, K. 2002. OCDE. *Environmental impacts in the agricultural sector: using indicator as a tool for policy purposes*. Paper presented to the Comissison for Environmetal Cooperating Meeting. Disponível em:
<http://www.cec.org/files/pdf/economy/OECDParris_EN.pdf > Acesso em: 05/03/2013.
- PAUMGARTTEN, J. R.; DELGADO I. F.; OLIVEIRA, E. S.; ALLELUIA I. B.; BARRETTO, H. H. C.; KUSSUMI, T. A. 1998. Levels of organochlorine pesticides in the blood serum of agricultural workers from Rio de Janeiro State, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*. 14 (3).
- PIMENTEL D., STACHOW U., TAKACS D.A., BRUBAKER H.W., DUMAS A.R., MEANEY J.J., O'NEIL J., ONSI D.E. & CORZILIUS D.B. *Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems*. *BioScience*, n.42. p.354-362. 1992.
- PINGALI, P.L. & ROGER, P.A. *Impact of pesticides on farmer health and rice environment*. Philippines: Kluwer Academic Publisher and International Rice Research Institute (IRRI). 1995.
- PRASIFKA, J. R.; LOPEZ, M. D.; HELLMICH, R. I.; PRASIFKA, P. L. 2008. *Effects of insecticide exposure on movement and population size estimates of predatory ground Beetles (Coleoptera: Carabide)*. *Pest Management Science*, 64: 30-36.
- QUEIROZ, J. F.; SILVEIRA, M. P.; SITTON, M.; MARIGO, A. L. S.; ZAMBOM, G. V.; SILVA, J. R.; CARVALHO, M. P.; RIBACINKO, R. B. *Coletor de macroinvertebrados bentônicos com substrato artificial para monitoramento da qualidade de água em viveiros de produção de tilápia*. Circular Técnica – EMBRAPA Meio Ambiente, Vol.16, 1-5, 2007.
- RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS. *Wetland Values and Functions* . Disponível na Internet. http://www.ramsar.org/values_intro_e.htm. 2009.
- REAKA-KUDLA, M.L., WILSON, D.E. & WILSON, E.O. *Biodiversity, II. Understanding and protecting our biological resources*. (Eds) Joseph Henry Press, Washington, DC. 1997.

- REISSIG, W.H.; HEINRICHS, E.A.; LITSINGER, J.A.; MOODY, K.; FIEDLER, L.; MEW, T.W.; BARRION, A.T.1986. *Illustrated guide to integrated management in rice in Tropical Asia*. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute, 411p.
- REPETTO, R. & BALIGA, S. J. 1996. *Los Plaguicidas y el sistema inmunitario: riesgos para la salud pública*. World Resources Institute.
- ROGER, P.A., GRANT, I.F., REDDY, P.M. & WATANABE, I. *The photosynthetic biomass in wetland ricefields and its effect on nitrogen dynamics*. In: Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. Manila: International Rice Research Institute. 1987.
- ROGER, PA., 1996. *Biology and management of floodwater ecosystem in ricefields*. Philippines: International Rice Research Institute. 250 p.
- ROGGERI, H. (1995). *Tropical freshwater wetlands: a guide to current knowledge and sustainable management*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 349 p.
- SINDICATO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS – SINDAG. *Dados de produção e consumo de agrotóxicos*. Disponível em:< www.sindag.com.br> Acesso em: 20/10/2011.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. *Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. In: BIBLIOTECA VIRTUAL SOSBAI. Santa Maria, 2005. Disponível em:< <http://www.sosbai.com.br/>>. Acesso em: 14/07/2012.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. *Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. / 28. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 11 a 13 de agosto de 2010, Bento Gonçalves, RS. - Porto Alegre: 2010. 188 p., il.
- SOARES, J. J.; Busoli, B. A.; Braz, A. C. 1995. *Impacto de herbicidas sobre artrópodes benéficos associados ao algodoeiro*. Journal of Economic Entomology, 30: 1135-1140.
- STIMER, B.R & HOUSE, G.J. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation tillage agriculture. Annual Review of Entomology, 35: 299-318.
- WEIS, J.S. et al. *Effects of contaminants on behavior: biochemical mechanisms and ecological consequences*. Bioscience, Vol. 51, 209-217, 2001.
- WILSON, AL., WATTS, RJ. & STEVENS, MM., 2008. *Effects of different management regimes on aquatic macroinvertebrate diversity in Australian rice fields*. Ecol. Res., vol. 23, p. 565-572.
- WINTERBOTTON, J.H.; ORTON, S. E.; HILDREW, G.; LANCASTER, J. 1997. *Field experiments on flow refuge in streams*. Freshwater Ecology, 37: 569-580.

YUDELMAN M, Ratta A, NYGAARD D (1998). *Pest management and food production. Looking to the future*. International Food Policy Research Institute, Washington.

ZEHNDER, G.; GURR, G.M.; KÜHNE, S.; WADE, M.R.; WRATTEN, S.D.; WYSS, E. 2007. *Arthropod pest management in organic crops. Annual Review of Entomology*, 52:57-80.

Resiliência da comunidade de macroinvertebrados aquáticos após a aplicação dos agrotóxicos nas lavouras de arroz irrigado no sul do Brasil

Resumo

A contaminação por agrotóxicos é a principal fonte de poluição dos recursos hídricos e uma ameaça constante para biodiversidade e equilíbrio dos ecossistemas naturais. Em 2008, o Brasil tornou-se o maior consumidor de agrotóxicos do mundo. A orizicultura é uma das principais atividades responsáveis pelo desaparecimento das áreas úmidas naturais e aumento do uso de agrotóxicos. Diante do contexto, o trabalho teve por objetivo avaliar a resiliência da comunidade de macroinvertebrados aquáticos após a aplicação de agrotóxicos ao longo do ciclo de cultivo de arroz irrigado no Sul do Brasil. Os objetivos específicos do estudo foram: 1) Analisar as variações na riqueza, abundância e composição de macroinvertebrados aquáticos, após a utilização de agroquímicos, nas lavouras de arroz irrigado no Sul do Brasil e comparar os resultados com as áreas úmidas naturais; 2) Avaliar a concentração e a persistência de resíduos de pesticidas na água de arrozais e seus possíveis efeitos sobre a comunidade de macroinvertebrados aquáticos; e 3) Avaliar a relação entre as variáveis abióticas da água com a comunidade de macroinvertebrados aquáticos. Foram realizadas cinco coletas ao longo da safra (2011-2012) em três lavouras de arroz irrigado e três áreas úmidas naturais. Foram coletados 9.831 macroinvertebrados distribuídos em 41 táxons. A classe Insecta representou 49% da abundância total. A riqueza e a abundância de macroinvertebrados foram maiores nas áreas úmidas naturais do que nas lavouras de arroz durante as coletas iniciais. O herbicida Clomazona apresentou uma relação negativa com a riqueza e a abundância de macroinvertebrados aquáticos. Os resultados indicaram a aceitação da hipótese de estudo, a qual afirma que os agrotóxicos influenciam negativamente a comunidade de macroinvertebrados aquáticos e que à medida que seus resíduos se dissipam na água das lavouras, a composição de macroinvertebrados torna-se mais similar àquela encontrada nas áreas úmidas naturais. Além disso, o estudo constatou a alta sensibilidade da comunidade de macroinvertebrados aquáticos frente à aplicação de agrotóxicos e seu possível uso como ferramenta complementar na avaliação da contaminação de ecossistemas aquáticos.

Palavras-chaves: Áreas úmidas, Lavouras de arroz, Macroinvertebrados aquáticos, Agrotóxicos, Sucessão.

Abstract

Agrochemical contamination is the main source of pollution of water resources and a constant threat to the biodiversity and balance of natural ecosystems. In 2008, Brazil became the largest consumer of agrochemicals in the world. Rice cultivation is one of the main activities responsible by the loss of natural wetlands and the increasing use of agrochemicals. In face with this context, this work aimed to evaluate the resilience of the community of aquatic macroinvertebrates after the application of agrochemicals throughout the cultivation cycle in southern Brazil. The specific objectives of this study were: 1) To analyze the variation in richness, abundance and composition of aquatic macroinvertebrates, after the use of agrochemicals, in rice plantations in southern Brazil and compare the results with natural wetlands; 2) To evaluate the concentration and persistence of residual pesticides in water from rice fields and the possible effects over the community of aquatic macroinvertebrates; and 3) To evaluate the relationship between water abiotic variables and the community of aquatic macroinvertebrates. Five samplings were conducted during the rice growing season (2011-2012) in three rice fields and three natural wetlands. A total of 9831 macroinvertebrates distributed in 41 taxa were collected. The Class Insecta represented 49% of total abundance. Macroinvertebrate richness and abundance were higher in natural wetlands than in rice plantations during initial samplings. The herbicide Clomazona showed a negative relation with richness and abundance of aquatic macroinvertebrates. The results support the study hypothesis, which states that agrochemicals affect negatively the macroinvertebrate community and as the residues dissipate in water, the composition of macroinvertebrates becomes more similar between rice fields and natural wetlands. Moreover, the study showed a high sensibility of the macroinvertebrate community to the application of agrochemicals and its possible use as a complementary tool in the evaluation of contamination in aquatic ecosystems.

Keywords: Wetlands, Rice cultivation, Aquatic macroinvertebrates, Pesticides, Succession.

Introdução

O manejo de pragas e doenças, de um modo geral, tem sido focado mais no aspecto econômico do que no ambiental (Barrigossi et al., 2004). Os agrotóxicos são biocidas raramente seletivos, atingindo tanto organismos considerados praga quanto aqueles que não são alvo de controle na lavoura (Conway & Pretty, 1991). Aplicações de produtos fitossanitários de alta toxicidade e largo espectro de ação são consideradas por diversos autores como sendo a principal causa de desequilíbrios biológicos nos agroecossistemas, provocando fenômenos como ressurgência de pragas, aumento de grupos secundários e seleção de populações de insetos resistentes (Nakano, 1986; Gerson e Cohen, 1989; Soares et al., 1995) que são, muitas vezes, atribuídas à alta mortalidade de predadores naturais e parasitoides (Prasifka et al., 2008).

A orizicultura constitui atualmente uma das principais atividades humanas responsáveis pelo desaparecimento das áreas úmidas naturais. Os impactos provocados pelo cultivo de arroz irrigado sobre esses ecossistemas são vários, entre eles, destacam-se a destruição e a fragmentação das áreas naturais, a alteração do regime hidrológico, a eutrofização, a erosão e/ou assoreamento, os riscos de contaminação por derrame de combustível e a contaminação por agrotóxicos (herbicidas, inseticidas e fungicidas) (Chomenko, 1997).

O Brasil tem uma grande diversidade de ecossistemas naturais que estão atualmente, submetidos à agricultura intensiva (Caldas & Souza, 2000). O setor arrozeiro é o quarto maior em produção de grãos no país (CONAB, 2012). O Rio Grande do Sul contribui com aproximadamente 78% do arroz cultivado pelo sistema irrigado no Brasil. A safra de 2010/11 caracterizou uma das maiores áreas já cultivadas pelos arrozeiros gaúchos, 1,2 milhão de hectares foram semeados, com incremento de

área em todas as regiões arrozeiras do estado. A safra atingiu um recorde histórico de aproximadamente 9 (nove) milhões de toneladas de arroz (IRGA, 2012).

O processo produtivo agrícola brasileiro está cada vez mais dependente dos agrotóxicos e fertilizantes químicos. Segundo a Sociedade Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2005), são recomendados para a cultura do arroz irrigado no Brasil 23 ingredientes ativos de herbicidas, 14 ingredientes ativos de inseticidas e 25 ingredientes ativos de fungicidas. Em 2008, o Brasil assumiu o posto de maior mercado consumidor de agrotóxicos do mundo, sendo que as vendas de agrotóxicos somaram US\$ 7,13 bilhões diante de US\$ 6,60 bilhões do segundo colocado, os Estados Unidos (ANDEF, 2009). Nos últimos dez anos, o mercado mundial de agrotóxicos cresceu 93%, enquanto que o mercado brasileiro cresceu 190% (ANVISA & UFPR, 2012).

A partir da década de 1980, no auge do processo de subordinação da agricultura à indústria e início do que hoje chamamos de agronegócio, diversas pesquisas foram realizadas na Europa e nos EUA visando estudar os efeitos da agricultura convencional sobre os aspectos socioculturais e ecológicos da produção agrícola (Ehlers, 1996). A influência da cultura orizícola sobre a diversidade de macroinvertebrados foi estudada na Espanha, onde foram encontrados elevados índices de contaminação orgânica no entorno de arrozais, resultando em uma redução na diversidade dessa comunidade (Carballo, 2005). Gijsman et al. (1997) relatou em seu estudo que a fauna de macroinvertebrados aquáticos é uma das mais afetadas pela orizicultura, sendo que a aplicação de produtos químicos resulta na redução da abundância e diversidade dos organismos. Corroborando com esses dados, estudos realizados por Mesléard et al. (2005) indicaram que o uso de inseticidas para o controle de pragas agrícolas, e também de herbicidas e fertilizantes, é capaz de modificar a estrutura das cadeias alimentares presentes em lavouras de arroz, especialmente de invertebrados.

Nesse sentido, o monitoramento das condições de contaminação tanto de regiões produtoras de arroz irrigado quanto de áreas úmidas contíguas às lavouras, bem como das respostas das comunidades biológicas frente a esta perturbação são essenciais para a avaliação dos impactos decorrentes da produção orizícola. Uma perturbação pode ser entendida como uma alteração no ambiente capaz de causar mudanças na comunidade ou sistema, levando à reestruturação dos mesmos. Perturbação é definida como um evento que resulta em uma mudança significativa na estrutura da comunidade de macroinvertebrados (riqueza, abundância e composição), além do esperado dentro de um determinado período de tempo (ciclo anual) em um habitat particular (Wallace, 1990). Atualmente o estudo das perturbações é reconhecido como uma importante área em trabalhos ecológicos, porque esses fenômenos afetam a organização das comunidades e contribuem para os processos ecológicos e evolutivos (Gerritsen & Patten, 1985).

A estabilidade relativa das comunidades e ecossistemas não é determinada apenas pela sua resistência a perturbações, mas também pela sua taxa de recuperação, ou resiliência (Webster et al., 1975; 1983). A recuperação pode ser entendida como o processo no qual o sistema retorna para a condição existente anteriormente à perturbação. Este processo envolve a recolonização por organismos de fontes externas ou refúgios internos (Yount & Niemi, 1990). Em lavouras de arroz, os organismos geralmente se caracterizam como sendo oportunistas e altamente resilientes, pois muitas espécies que compõem as comunidades biológicas são capazes de reagir através de suas características fisiológicas e/ou comportamentais às mudanças temporais drásticas que ocorrem nesses sistemas, recuperando-se rapidamente após os diferentes tipos de perturbações às quais as lavouras de arroz são submetidas (Bambaradeniya, 2000).

Diante do contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resiliência da comunidade de macroinvertebrados aquáticos após a aplicação de agrotóxicos ao longo do ciclo de cultivo de arroz irrigado no Sul do Brasil. A hipótese de trabalho é de que a estrutura da comunidade de macroinvertebrados aquáticos é afetada pelo uso de agrotóxicos no cultivo de arroz irrigado e que, à medida que os resíduos de pesticidas tornam-se escassos na água das lavouras de arroz a comunidade de macroinvertebrados aquáticos torna-se mais similar à comunidade encontrada nas áreas úmidas naturais.

Para atender a essa hipótese, este estudo teve por objetivos específicos:

1. Analisar as variações na riqueza, abundância e composição de macroinvertebrados aquáticos, após a utilização de agrotóxicos, nas lavouras de arroz irrigado no Sul do Brasil;
2. Avaliar a concentração de resíduos de pesticidas na água de arrozais e seus possíveis efeitos sobre a comunidade de macroinvertebrados aquáticos;
3. Avaliar a relação entre as variáveis físicas e químicas da água das lavouras de arroz irrigado e áreas úmidas naturais com a comunidade de macroinvertebrados aquáticos; e
4. Comparar a riqueza, a abundância e a composição de macroinvertebrados aquáticos entre lavouras de arroz irrigado e áreas úmidas naturais no Sul do Brasil.

Material e Métodos

Área de estudo

O estado do Rio Grande do Sul está localizado na região Sul do Brasil com uma área de 282.184 km². A Planície Costeira estende-se por 640 km à margem do Oceano Atlântico, com área correspondente a 10,6% da área total do Estado, sendo sua principal característica hidrológica a ausência de grandes rios e a presença de várias lagoas distribuídas em toda sua extensão. A Planície Costeira é uma das regiões do Rio Grande do Sul com a maior concentração de áreas úmidas e também é uma importante região produtora de arroz no Estado (Maltchik et al., 2003). O clima do Rio Grande do Sul é subtropical úmido e a temperatura média varia de 14, 6°C no inverno a 22,2°C no verão, com uma temperatura média anual de 17,5°C. A precipitação anual média é de 1.250 mm. A topografia plana e a baixa altitude (inferior a 20m acima do nível do mar) da Planície Costeira fazem com que as condições climáticas relacionadas à precipitação e temperatura sejam bastante similares nessa região (Rambo, 2000).

A área selecionada para o estudo (Figura 1) localiza-se no município de Capivari do Sul (Planície Costeira Externa do Rio Grande do Sul, paralelo 30°08'49,81"S e meridiano 50°30'48,8"O), que ocupa atualmente a 32ª posição entre as cidades produtoras de arroz irrigado no Estado, com 16.738 ha de área de plantio (IRGA, 2013).

A propriedade rural selecionada utiliza o sistema de cultivo mínimo do arroz, o qual se caracteriza por ser um sistema agrícola conservacionista de manejo do solo. Nesse tipo de sistema de cultivo, os efeitos da erosão são reduzidos, pois a semeadura do arroz ocorre com um mínimo de movimentação do solo e sob a resteva de uma cultura anterior, pastagem ou flora de sucessão, dessecadas com herbicida (Gomes, et

al., 2004). A cultivar utilizada foi IRGA 417 que se caracteriza por apresentar alta produtividade, alto vigor inicial de plântulas e ótima qualidade de grãos (IRGA, 2013). Os agrotóxicos utilizados nas lavouras foram Nominee 400SC (Bispiribaque-sódico) e Gamit Star (Clomazona), ambos herbicidas e Altacor (Clorantraniliprole) inseticida. As características relacionadas ao tipo, toxicologia, periculosidade ambiental e dissipação dos agrotóxicos estão descritas na Tabela 1.

Delineamento amostral

O estudo foi realizado durante a safra de arroz irrigado de 2011/2012, a qual compreendeu os meses de novembro de 2011 a fevereiro de 2012. Foram selecionadas 03 (três) lavouras de arroz irrigado (Figuras 2, 3 e 4) equidistantes aproximadamente 600 metros e 03 (três) áreas úmidas naturais intermitentes (Figuras 5, 6a, 6b, 7a e 7b), distantes aproximadamente 1.000 metros das lavouras. Foram realizadas 05 (cinco) campanhas de coleta de macroinvertebrados no 3°, 7°, 14°, 38° e 60° dias após a aplicação dos agroquímicos a qual ocorreu no dia 25 de novembro de 2011.

A análise da concentração de agrotóxicos presentes na água das lavouras foi mensurada pelo Laboratório de Análises de Compostos Orgânicos e Metais da FURG, a pedido do Instituto Rio Grandense do Arroz, através de uma amostra da água enviada após cada coleta. As características físicas e químicas da água (temperatura, pH, sólidos totais dissolvidos (TDS), condutividade, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez) foram medidas *in situ* com o uso de uma sonda multi-parâmetros (HORIBA U-22 Water Quality Checker).

Em cada coleta foram realizadas cinco amostras de macroinvertebrados em cada lavoura de arroz e área úmida natural através de um puçá aquático (*frame dip-net*) de 30

cm de largura e malha de 250 μm de diâmetro. Cada amostra foi representada por uma varredura de 1 m, sendo que a mesma foi fixada *in situ* com formaldeído a 10% e levada ao laboratório para triagem. No laboratório, as amostras foram lavadas com o auxílio de peneiras com malhas de 1 mm, 0,5 mm e 0,2 mm de diâmetro. Os macroinvertebrados foram triados e identificados até o nível de família e/ou gênero com auxílio de um estereomicroscópio.

A identificação taxonômica foi baseada em bibliografias especializadas (Merritt e Cummins 1996; Lopretto e Tell 1995; Usinger 1963; Fernández e Domínguez 2001; Brinkhurst e Marchese 1989) e, quando necessário, foi solicitado auxílio de especialistas em diferentes grupos taxonômicos. Segundo Callisto et al., (2004), a resolução taxonômica até o nível de família é suficiente para detectar perturbações e impactos nas comunidades de macroinvertebrados aquáticos. As amostras foram armazenadas no Laboratório de Ecologia e Conservação de Ecossistemas Aquáticos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Análise de dados

As famílias de macroinvertebrados aquáticos foram classificadas nos grupos tróficos funcionais propostos por Merritt & Cummins (1996): predadores, coletores, fragmentadores, raspadores, parasitas e generalistas (pertencentes a mais de um grupo trófico). A riqueza e a abundância de macroinvertebrados aquáticos foram representadas pelo número total de táxons (considerando-se os menores níveis taxonômicos em cada grupo) e pelo número de indivíduos coletados ao longo do estudo. A abundância de macroinvertebrados foi log-transformada ($\log_{10}(x+1)$) para tornar as variâncias mais homogêneas e para dar menor peso aos poucos táxons dominantes.

As variações da riqueza e abundância de macroinvertebrados após a aplicação dos agrotóxicos ao longo do período de cultivo do arroz entre as lavouras de arroz e áreas úmidas naturais foram analisadas através de ANOVA de Medidas Repetidas com testes de Tukey aplicados *a posteriori* para comparações múltiplas entre as diferentes coletas realizadas após a aplicação dos agrotóxicos. A análise foi realizada no SPSS (2002). O teste de Levene verificou a homogeneidade de variâncias e o teste de esfericidade de Mauchy verificou a premissa de esfericidade, a proporcionalidade entre a matriz de covariância e a matriz identidade.

As variáveis físicas e químicas da água foram reduzidas por Análise de Componentes Principais (PCA). Para a ordenação (PCA) foram utilizados os valores de cada lavoura e área úmida em todas as coletas realizadas ao longo do ciclo de cultivo. Todas as variáveis foram padronizadas pelo z-score. Posteriormente, a influência das variáveis físicas e químicas da água na riqueza e abundância de macroinvertebrados foi analisada por regressão linear múltipla utilizando os escores dos três primeiros eixos da PCA. A influência das concentrações de agrotóxicos na riqueza e na abundância de macroinvertebrados nas lavouras de arroz foi analisada através de regressões lineares simples. As análises foram realizadas no programa estatístico Systat 12 (Systat 2007).

As relações de dissimilaridade na composição de macroinvertebrados aquáticos entre as lavouras de arroz e áreas úmidas naturais foram analisadas através da técnica de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (*Non-Metric Multidimensional Scaling* - NMDS). Em seguida, as variáveis ambientais (pH, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, total de sólidos dissolvidos e temperatura) foram ajustadas à ordenação pela função envfit. As análises foram realizadas utilizando o pacote Vegan (Oksanen et al. 2009) no programa estatístico R versão 2.9.0 (R Development Core Team 2009)

Uma Análise de Variância Multivariada por Permutação (PERMANOVA) foi usada para comparar diferenças na composição da comunidade de macroinvertebrados aquáticos entre as lavouras e as áreas úmidas naturais. Para avaliar a diferença na composição entre as áreas foi utilizada a matriz de distância de Bray-Curtis e 9.999 permutações para validar a significância do modelo. As análises foram realizadas utilizando o pacote Vegan (Oksanen *et al.*, 2009) no programa estatístico R versão 2.9.0 (R Development Core Team, 2009). Posteriormente, foi realizada uma análise de espécies indicadoras (“*Indicator Species Analysis*”; Dufrene & Legendre, 1997) para determinar se a frequência e abundância de determinados táxons de macroinvertebrados aquáticos poderiam estar mais relacionadas às lavouras de arroz ou às áreas úmidas naturais, sendo validada pelo teste de Monte Carlo (5.000 permutações).

Resultados

Nas lavouras foram encontrados 3.682 indivíduos distribuídos em 30 táxons (Tabela 4). A abundância da comunidade variou de 969 a 1.512 indivíduos e a riqueza teve uma variação de 07 a 10 táxons por lavoura de arroz ao longo do período estudado. A Classe Insecta foi a mais representativa (2.258 indivíduos distribuídos em 28 táxons), correspondendo a 61,3% da abundância total. Os táxons mais abundantes nas lavouras foram Chironomidae e Oligochaeta, representando 33,5% e 26,8% da abundância total, respectivamente.

Nas áreas úmidas naturais foram encontrados 6.149 indivíduos distribuídos em 38 táxons (Tabela 4). A abundância da comunidade variou de 759 a 3.974 indivíduos e a riqueza variou de 07 a 17 táxons por área úmida natural ao longo do estudo. A Classe Insecta foi a mais representativa (2.599 indivíduos distribuídos em 30 táxons),

correspondendo a 42,3% da abundância total. Dogielinotidae e Glossiphoniidae foram os táxons mais abundantes nas áreas úmidas naturais, representando 21,7% e 18,7% da abundância total, respectivamente.

Nas lavouras, a riqueza de grupos tróficos funcionais apresentou uma maior variação após 38 dias da aplicação dos agrotóxicos, sendo que os generalistas, predadores e coletores foram os grupos mais representativos (Figura 8a). Nas áreas naturais, enquanto os coletores apresentaram um número constante de táxons ao longo do período estudado, a riqueza de predadores variou entre as coletas, passando a predominar no final do estudo (Figura 8b). Em relação ao número de indivíduos, os coletores predominaram ao longo de todo o período estudado, representando 61,8% nas lavouras (Figura 8c) e 52% nas áreas úmidas naturais (Figura 8d).

A riqueza de macroinvertebrados aquáticos variou significativamente entre as lavouras de arroz e áreas úmidas naturais ao longo do cultivo do arroz ($F_{4,16}=3,896$; $p = 0,021$), porém foi maior nas áreas úmidas naturais do que nas lavouras de arroz durante as coletas iniciais (3° e 7° dias após a aplicação dos agrotóxicos nos arrozais) ($p < 0,05$). Após o 14° dia até o final do período estudado, a riqueza foi similar entre as lavouras de arroz e áreas naturais ($p > 0,05$) (Figura 9).

A abundância de macroinvertebrados aquáticos também variou significativamente entre as lavouras de arroz e áreas úmidas naturais ao longo do cultivo do arroz ($F_{4,16}= 4,330$; $p = 0,015$). No 7° dia após a aplicação dos agrotóxicos, a abundância foi maior nas áreas úmidas naturais do que nas lavouras ($p < 0,05$). Nas demais coletas, a abundância foi similar entre as lavouras e as áreas úmidas naturais ($p > 0,05$) (Figura 10).

Apesar de ambas as áreas apresentarem variação na riqueza e abundância de macroinvertebrados, foi possível observar que as áreas naturais apresentaram uma

menor oscilação desses atributos da comunidade ao longo do estudo, diferentemente das lavouras de arroz, que apresentaram uma diferença significativa na riqueza e na abundância entre as coletas iniciais e finais do ciclo de cultivo estudado (Figuras 9 e 10).

As variáveis ambientais foram reduzidas a três componentes principais que explicaram 80,6% da variação nas características físicas e químicas da água (Tabela 3). O primeiro componente resumiu 38,5% da variação e esteve relacionado com as variáveis oxigênio dissolvido ($r = 0,760$), condutividade ($r = 0,925$) e sólidos totais dissolvidos ($r = 0,926$). O segundo componente resumiu 23,3% da variação e esteve relacionado com as variáveis pH ($r = -0,820$) e turbidez ($r = 0,768$), e o terceiro componente resumiu 18,8% da variação e esteve relacionado com a variável temperatura ($r = 0,954$). A riqueza e a abundância de macroinvertebrados aquáticos estiveram relacionadas somente com o primeiro componente da ordenação, sendo negativamente influenciadas pela condutividade, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido da água ($R^2_{\text{adj}} = 0,458$; $F_{1,25} = 22,955$; $p < 0,001$; e $R^2_{\text{adj}} = 0,367$; $F_{1,25} = 16,063$; $p < 0,001$, respectivamente).

Os agrotóxicos variaram temporalmente ao longo do período estudado, apresentando uma diminuição até o 14º dia após a aplicação nas lavouras ($p < 0,05$) (Figura 11). Dentre os três tipos de agrotóxicos utilizados, apenas o herbicida Clomazona apresentou uma relação negativa com a riqueza e abundância, os demais agrotóxicos utilizados nas lavouras mostraram-se marginalmente significativos quanto a sua relação negativa com a riqueza e a abundância da comunidade: Quanto à riqueza: Clomazona ($R^2 = 0,305$; $F_{1,13} = 5,706$; $p = 0,033$); Bispiribaque-sódico ($R^2 = 0,216$; $F_{1,13} = 3,581$; $p = 0,081$) e Clorantraniliprole ($R^2 = 0,226$; $F_{1,13} = 3,806$; $p = 0,073$). Quanto à abundância: Clomazona ($R^2 = 0,157$; $F_{1,13} = 2,425$; $p = 0,143$), Bispiribaque-

sódico ($R^2 = 0,056$; $F_{1,13} = 0,767$; $p = 0,397$) e Clorantraniliprole ($R^2 = 0,100$; $F_{1,13} = 1,452$; $p = 0,250$).

A dissimilaridade na composição de macroinvertebrados aquáticos entre as lavouras e áreas úmidas naturais foi representada por dois eixos da análise de ordenação (NMDS, stress=9,70) (Figura 14). A composição variou entre as lavouras de arroz e áreas úmidas naturais ($F_{1,23}=0,111$; $p<0,001$). No final do estudo, observou-se uma maior similaridade na composição de macroinvertebrados entre as lavouras de arroz e áreas úmidas naturais. Alguns táxons foram mais frequentes e abundantes nas áreas úmidas naturais, tais como *Helobdella* sp. ($I_{NDV_{AL}}=0,750$; $p<0,001$), *Hyallolella* sp. ($I_{NDV_{AL}}=0,748$; $p<0,001$) e *Heleobia* sp. ($I_{NDV_{AL}}=0,414$; $p=0,036$), enquanto *Oligochaeta* ($I_{NDV_{AL}}=0,715$; $p=0,026$) foi o táxon que esteve mais associado às lavouras de arroz irrigado.

Tanto em lavouras de arroz quanto em áreas úmidas naturais, houve variação na composição da comunidade de macroinvertebrados entre as coletas iniciais e finais do estudo. As variáveis condutividade e sólidos totais dissolvidos da água influenciaram a composição, principalmente no período inicial do estudo, onde as maiores concentrações destas variáveis, em especial nas lavouras, relacionaram-se com as menores ocorrências de táxons de macroinvertebrados, enquanto as menores concentrações dessas variáveis, no final do estudo, estiveram associadas com as maiores ocorrências de táxons da comunidade.

Discussão

A estabilidade dos ecossistemas é influenciada pela diversidade de espécies, de forma que a simplificação dos sistemas agrícolas resulta em uma maior instabilidade em função da redução na biodiversidade (Altiere, 1979). Essa hipótese é corroborada em nosso estudo, ao observarmos que a riqueza e a abundância de macroinvertebrados aquáticos variaram entre as áreas úmidas naturais e lavouras de arroz ao longo do período estudado. Nas áreas úmidas naturais, a dinâmica temporal da comunidade foi mais estável do que a observada nas lavouras após a aplicação dos agrotóxicos. A redução da riqueza e abundância de macroinvertebrados nas áreas naturais foi principalmente influenciada por uma estiagem natural ocorrida entre a segunda e a terceira coletas. Entretanto, com o retorno da água nas áreas naturais, a comunidade apresentou uma rápida resiliência após o estresse hídrico. Nas lavouras, impactadas pelo uso dos agrotóxicos, o processo de sucessão foi mais tardio do que nas áreas úmidas naturais e a resiliência mostrou-se mais gradual.

As diferenças encontradas em relação à resiliência da comunidade frente à aplicação de agrotóxicos (lavouras) e ao estresse hídrico (áreas úmidas) demonstraram uma relação de causa e efeito entre a contaminação por agrotóxicos e o impacto negativo sobre os macroinvertebrados nas lavouras de arroz. Por outro lado, a redução da dissimilaridade na composição entre as áreas naturais e lavouras ao longo do processo sucessional foi concomitante à redução das concentrações dos agrotóxicos aplicados nas lavouras no início do cultivo, corroborando assim com nossa hipótese de estudo. Nosso resultado assemelha-se ao de Baumart (2010) a qual verificou que os pesticidas influenciaram negativamente a abundância da fauna bentônica no início da cultura do arroz irrigado. Schulz & Liess (1999) demonstraram que com a dissipação e

diluição dos pesticidas ao longo do tempo, diminui também a toxicidade desses agrotóxicos aos organismos aquáticos. Segundo Gagneten (2002), o efeito de herbicidas na comunidade bentônica pode ser explicado pelo fato dos mesmos reduzirem a disponibilidade de recursos alimentares para a comunidade, podendo ainda estar associado ao efeito tóxico desses herbicidas sobre os recursos alimentares.

Moreira et al. (2004) descreveram que o modo de ação de cada agrotóxico é diferente, sendo também sua característica de seletividade. Contudo, os produtos podem se alterar em condições ambientais adversas, pois todos os agroquímicos sofrem ação físico-química como transporte e degradação. Esses processos determinam sua persistência e podem alterar sua eficácia no controle das pragas, bem como seu potencial para a contaminação do solo, água e alimentos. Apesar dos produtos aplicados neste estudo terem apresentado padrões de persistência distintos, apenas o herbicida Clomazona esteve significativamente associado à comunidade de macroinvertebrados, embora sua persistência no ambiente tenha sido menor do que os demais agrotóxicos utilizados. Cabe salientar que a persistência desse produto em nosso estudo foi de 60 dias após a aplicação, tempo maior do que o verificado por Santos et al. (2008), que encontraram resíduos de Clomazona até o 39º dia após a aplicação. Embora as análises não tenham apontado uma relação negativa entre as concentrações dos demais agrotóxicos com a riqueza e a abundância, pode-se observar uma tendência a essa relação.

Delong & Brusven (1998) descreveram ainda que em ecossistemas que sofrem interferências constantes, como é o caso das lavouras de arroz, há uma tendência à eliminação dos organismos mais sensíveis e ao não estabelecimento de estrategistas *k*, dificultando o avanço no processo sucessional e permitindo dessa forma, a predominância de indivíduos generalistas e tolerantes. Tal fato pode explicar a

dominância de Chironomidae e Oligochaeta nas lavouras de arroz estudadas. Quironomídeos e oligoquetas geralmente são os primeiros macroinvertebrados a colonizar os mais variados ecossistemas aquáticos (Reiss, 1977), além disso, são considerados estrategistas *r* porque possuem processos de dispersão que asseguram a colonização ou recolonização de habitats. O desenvolvimento rápido, reprodução precoce e pequeno porte são, entre outras, características de espécies que adotam estratégia de seleção *r* (Pianka, 1970).

Apesar das diferenças de riqueza e abundância entre as lavouras de arroz e áreas úmidas naturais, verificou-se a predominância dos grupos tróficos funcionais classificados como predadores, coletores e generalistas. Contudo, nas lavouras esse resultado ocorreu somente a partir do 14º dia após a aplicação e dissipação dos agrotóxicos. A predominância de famílias de predadores neste estudo pode ser explicada em parte pelo regime hídrico. Batzer e Resh (1992) afirmaram que a riqueza de predadores aumenta proporcionalmente ao tempo que a área úmida permanece com água. Os coletores também foram freqüentes, provavelmente por apresentarem diversos mecanismos de alimentação (detritívoros, herbívoros e filtradores) e, assim, utilizarem recursos alimentares variados. Minshall (1988) assumiu que o grupo trófico funcional que prevalece em ecossistemas aquáticos é o generalista, exatamente por não ser especialista no uso de apenas um ou de poucos recursos alimentares.

Considerações Finais

Os resultados deste estudo indicaram a aceitação da hipótese inicial, a qual afirma que os agrotóxicos influenciam negativamente a comunidade de

macroinvertebrados aquáticos e que à medida que seus resíduos se dissipam na água das lavouras, a composição de macroinvertebrados torna-se mais similar àquela encontrada nas áreas úmidas naturais. Além disso, o estudo constatou a alta sensibilidade da comunidade de macroinvertebrados aquáticos frente à aplicação de agrotóxicos e seu possível uso como ferramenta complementar na avaliação da contaminação de ecossistemas aquáticos. Entretanto, as variações da comunidade ao longo do período estudado não podem ser somente atribuídas aos efeitos diretos ou indiretos da aplicação de agrotóxicos devido ao fato de diversos fatores ambientais poderem influenciar conjuntamente na comunidade e ainda em função das alterações atribuídas ao uso de agrotóxicos dependerem do tipo, concentração e toxicidade dos produtos.

Estudos sobre a comunidade de macroinvertebrados são importantes no auxílio da elaboração de ações visando à conservação da biodiversidade e da qualidade ambiental dos recursos hídricos. A substituição dos ecossistemas naturais, de elevada biodiversidade e estabilidade, por ambientes artificiais de natureza sócio-econômica, resulta na criação de sistemas altamente dependentes da constante intervenção humana e, portanto, de frágil equilíbrio ecológico. Nosso estudo sugere que é necessário ampliar temporal e espacialmente o número de réplicas e também de atributos da comunidade que não foram avaliados nesse estudo, como respostas fisiológicas e/ou morfológicas dos indivíduos, com a finalidade de avaliar os impactos dos agrotóxicos oriundos das atividades agrícolas em um contexto ecológico mais amplo. Essa informação é primordial para o desenvolvimento de programas de manejo e estratégias de restauração de áreas úmidas na região, as quais já foram em grande parte degradadas ou estão em grande risco, devido à expansão orizícola e impactos antrópicos resultantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA & UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR. *Seminário de mercado de agrotóxico e regulação*. ANVISA, Brasília, 11 abril de 2012.
- ALTIERE, M. A. *Agroecologia: As Bases Científicas da Agricultura Alternativa*. tradução de Patrícia Vaz. 2a Janeiro: PTA/FASE, 1989. 240 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL – ANDEF. *Tecnologia em primeiro lugar: o Brasil a caminho de se tornar o maior produtor mundial de grãos*. Revista Defesa Vegetal, Maio de 2009.
- BAMBARADENIYA, CNB., *Ecology and biodiversity in an irrigated rice field ecosystem in Sri Lanka*. Ph.D. Thesis, Sri Lanka: University of Peradeniya. 525 p. 2000.
- BARRIGOSI, J. A. F.; LANNA, A.C. & FERREIRA, E. 2004. *Agrotóxicos no cultivo do arroz no Brasil: análise do consumo e medidas para reduzir o impacto ambiental negativo*. Circular Técnica 67. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Recursos Genéticos e Biotecnologia (EMBRAPA), Santo Antônio de Goiás. 8p.
- BATZE, D. P.; RESH, V. H. 1992. *Wetland management strategies that enhance waterfowl habitats can also control mosquitoes*. Journal of the American Mosquito Control Association 8: 117-125.
- BAUMART, J.S. *Impacto de agrotóxicos usados na lavoura de arroz irrigado em organismos bentônicos*. 2010. 62 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Animal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BRINKHURST, RO. & MARCHESE, M.R., 1989. *Guía para la identificación de oligoquetos acuáticos continentales de Sud y Centro America*. San Tomé: J. Macia.
- CALDAS, E; SOUZA, L.C.de. *Avaliação de risco crônico da ingestão de resíduos de agrotóxicos na dieta brasileira*. Revista Saúde Pública, São Paulo, Vol. 34, n.5, p.529-537, 2000.
- CALLISTO, M. & GONÇALVES, J. F. Jr, Moreno, P. 2004. *Invertebrados Aquáticos como Bioindicadores* In: *Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais*. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG.1:1-12.
- CARBALLO, L. M. 2005. *Aproximación limnológica al grado actual de conservación del Brazo del Este*. Plegadis. 8.

- CHOMENKO, L.1997. *Impactos socio-economico-ambientais das lavouras de arroz irrigado no RS*. Anais da Xxii Reunião da Cultura de Arroz Irrigado Camboriu Sc, Camboriu, S.Catarina-Brasil, 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2011/12 – Décimo Levantamento* – Julho 2012.
- CONWAY, GR. & PRETTY, JN., 1991. *Unwelcome harvest: Agriculture and pollution*. London: Earthscan Publications.
- DELONG, M.D.; BRUSVEN, M.A. *Macroinvertebrate community structure along the longitudinal gradient of an agriculturally impacted stream*. Environmental Management, Vol. 22, 445–57, 1998.
- EHLERS, E. *Agricultura Sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma*. São Paulo: Livros da Terra, 1996. 175p.
- FARIA, M. F. et al *The use of larvae to assess effects of pesticides from rice fields in adjacent freshwater ecosystems*. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol.67, 218-226, 2007.
- FERNÁNDEZ, H. R. & DOMINGUEZ, E. 2001. *Guía para La determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.
- GAGNETEN, A. M. *Efectos del herbicida paraquat sobre el zooplancton*. Iheringia, v. 92, n. 3, p. 47-56, Sep. 2002.
- GERRITSEN, J.; PATTEN, B. C. *System theory formulation of ecological disturbance*. *Ecological Modeling*, v.29, p.383-97. 1985.
- GERSON, V.; COHEN, E. 1989. *Ressurgences of spider mites (Acari: Tetranychidae) induced by synthetic pyrethroids*. Experimental Applied Acarology, 6: 29-46
- GIJSMAN, A.J. et al. *Nutrient cycling through microbial biomass under rice-pasture rotations replacing native savanna*. Soil Biology and Biochemistry, 29(12),1433-1441,1997.
- GOMES, A.S., PAULETTO, E.A., VERNETTI, Jr., & SOUZA, R.O., 2004. *Plantio direto e cultivo mínimo em arroz irrigado*. In: GOMES, A.S. & MAGALHÃES, JAM. (Eds.). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- GUERESCHI, R.N. *Macroinvertebrados Bentônicos em córregos da estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio, SP: subsídios para Monitoramento Ambiental*. 2004. 82f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.
- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T. & RYAN, P.D. 2001. PAST: *Palaeontological statistics software package for education and data analysis*. *Paleontologia Electronica* 4(1):9p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

- Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), 2010. Lavoura Arrozeira - Porto Alegre, v. 58 - número 455 - Dezembro 2010. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/uploads/revista/edicoes/1293121959RLA_455site.pdf>. Acesso em: 05/01/2012).
- INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. Lavoura Arrozeira - Porto Alegre, v.60 - número 458 - Agosto 2012 pág. 21.
- INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. Lavoura Arrozeira - Porto Alegre, Volume 61 – nº 459 – novembro/dezembro/janeiro – 2012/2013.
- LOPRETTO, E.C. & TELL, G. 1995. *Ecosystemas de aguas continentals: metodologias para su estudio*. La Plata: Ediciones Sur.
- MALTCHIK, L.; Costa, E. S.; Becker, C. G. and Oliveira, A. E. 2003. *Inventory of wetlands of Rio Grande do Sul (Brazil)*. Pesquisas Bot., 53: 89-100.
- MERRITT, R. W. & CUMMINS, K. W. 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- MESLÉARD, F., GARNERO, S., BECK, N., ROSECCHI, E. 2005. *Uselessness and indirect negative effects of an insecticide on rice field invertebrates*. C. R. Biologies, 328: 955-962.
- MINSHALL, G.W. 1988. *Stream ecosystem theory: a global perspective*. 7:263-288.
- MOREIRA, M.R.S. et al. *Monitoramento dos resíduos de Carbofurano em área de produção de arroz irrigado – Taubaté, São Paulo*. Arquivo do Instituto Biológico, Vol. 71, 221- 226, 2004.
- NAKANO, O. 1986. *Avanços na prática do controle de pragas*. Informação Agropecuária, 12: 55-59.
- OKSANEN, J., KINDT, R., LEGENDRE, P., O'HARA, B., SIMPSON, G.L., SOLYMOS, P., STEVENS, M.H.H. & WAGNER, H. 2009. *Vegan: Community ecology package. R package version 1.15-1*. Disponível em: <http://cran.r-project.org/>, <http://r-forge.r-project.org/projects/vegan/> (Acesso em: 05/03/2012).
- PIANKA, E.R. *On r- and k- selection*. American Naturalist, Vol. 102, 592-597, 1970.
- PRASIFKA, J. R.; LOPEZ, M. D.; HELLMICH, R. I.; PRASIFKA, P. L. 2008. *Effects of insecticide exposure on movement and population size estimates of predatory ground Beetles (Coleoptera: Carabidae)*. Pest Management Science, 64: 30-36.
- RAMBO, B. 2000. *A Fisionomia do Rio Grande do Sul: Ensaio de Monografia Natural*. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio do Sinos (UNISINOS). 456p.

- REISS, F. *Qualitative and quantitative investigations on the macrobenthic fauna of Central Amazon lakes*. Amazoniana, Vol. 6, 203-235, 1977.
- SANTOS, F.M. et al. *Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone em lâmina de água do arroz irrigado*. Planta Daninha, v.26, p.875-881, 2008.
- SOARES, J. J.; Busoli, B. A.; Braz, A. C. 1995. *Impacto de herbicidas sobre artrópodes benéficos associados ao algodoeiro*. Journal of Economic Entomology, 30: 1135-1140.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. *Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. Santa Maria, 2005. 159 p.
- SCHULZ, R. & LIESS, M. *Validity and ecological relevance of an active in situ bioassay using Gammarus pulex and Limnephilus lunatus*. Environmental Toxicology and Chemistry, 18: 2243-2250, 1999.
- USINGER, R. L. 1963. *Aquatic insects of California with keys to North American genera and California species*. California University Press, Berkeley, 508p.
- WALLACE, J.B. *Recovery of lotic macroinvertebrate communities from disturbance*. Environmental Management, v.14, n.5, p. 605-20. 1990.
- WEBSTER, J. R., J. B. WAIDE, and B. C. PATTEN. 1975. *Nutrient cycling and stability of ecosystems*. Pages 1–27 in F. G. Howell, J. B. Gentry, and M. H. Smith (eds.), Mineral cycling in southeastern ecosystems. ERDA Symposium Series, Washington DC.
- WEBSTER, J. R., M. E. GURTZ, J. J. HAINS, J. L. Meyer, W. T. Swank, J. B. Waide, and J. B. Wallace. 1983. *Stability of stream ecosystems*. Pages 355–395 in J. R. Barnes and G. W. Minshall (eds.), Stream ecology: application and testing of general ecological theory. Plenum Press, New York.
- YOUNT, J.D.; NIEMI, G.J. *Recovery of lotic communities and ecosystems from disturbance – a narrative review of case studies*. Environmental Management, v. 14, n.5, p. 547-69. 1990.

Tabela 1. Características toxicológicas dos agrotóxicos utilizados nas lavouras orizícolas ao longo do período estudado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

Nome Comercial	Nome Comum	Tipo	Toxicologia	Periculosidade Ambiental	DT ₅₀ médio (dias)	Dissipação (dias)
Nominee 400SC	Bispiribaque-Sódico	Herbicida	Altamente tóxico	Perigoso ao meio ambiente	12,4	63
Gamit Star	Clomazona	Herbicida	Medianamente tóxico	Muito perigoso ao meio ambiente	1,9	25
Altacor	Clorantraniliprole	Inseticida	Medianamente tóxico	Muito perigoso ao meio ambiente ¹	2	Não há estudos ²

¹ Segundo a Du Pont do Brasil SA (2010), fabricante do produto: muito tóxico para os organismos aquáticos, podendo causar efeitos nefastos em longo prazo no ambiente aquático. O produto encontra-se sob restrição de uso temporário no Paraná.

² Não há estudos sobre o produto, pois entrou no mercado em 2010.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão (DP) dos agrotóxicos mensurados nas três lavouras orizícolas, ao longo do período estudado, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

Herbicida: Bispiribaque-sódico (μgL^{-1})					
	3 dias	7 dias	14 dias	38 dias	60 dias
Lavoura 1	11,95	0,70	1,28	0,75	0,15
Lavoura 2	3,52	0,91	0,66	0,43	0,00
Lavoura 3	5,20	4,44	0,00	0,15	0,27
Média/DP por Coleta	$6,89 \pm 4,46$	$2,02 \pm 2,10$	$0,65 \pm 0,64$	$0,44 \pm 0,30$	$0,14 \pm 0,14$
Herbicida: Clomazona (μgL^{-1})					
	3 dias	7 dias	14 dias	38 dias	60 dias
Lavoura 1	5,92	0,44	0,67	0,17	0,09
Lavoura 2	3,12	1,00	0,39	0,15	0,15
Lavoura 3	5,76	2,74	0,00	0,92	0,12
Média/DP por Coleta	$4,93 \pm 1,57$	$1,39 \pm 1,20$	$0,35 \pm 0,29$	$0,41 \pm 0,44$	$0,12 \pm 0,12$
Inseticida: Clorantraniliprole (μgL^{-1})					
	3 dias	7 dias	14 dias	38 dias	60 dias
Lavoura 1	5,41	0,00	1,59	1,15	0,48
Lavoura 2	2,83	0,71	0,26	0,22	0,26
Lavoura 3	3,05	3,67	0,00	0,41	0,33
Média/DP por Coleta	$3,76 \pm 1,43$	$1,46 \pm 1,95$	$0,62 \pm 0,52$	$0,59 \pm 0,49$	$0,36 \pm 0,11$

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão das variáveis ambientais mensuradas nas seis áreas estudadas no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

Áreas Úmidas	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)
Lavoura 1	28,42 / \pm 3,11	6,32 / \pm 0,41	49,60 / \pm 56,64	0,17 / \pm 0,11	9,14 / \pm 3,18	111,60 / \pm 72,80
Lavoura 2	28,54 / \pm 4,09	6,34 / \pm 0,35	72,88 / \pm 80,44	0,14 / \pm 0,09	7,06 / \pm 2,64	94,80 / \pm 58,01
Lavoura 3	30,00 / \pm 4,70	6,39 / \pm 0,48	67,56 / \pm 103,64	0,12 / \pm 0,07	7,28 / \pm 2,55	80,60 / \pm 49,36
Natural 1	30,66 / \pm 1,82	6,96 / \pm 0,41	239,02 / \pm 450,28	0,11 / \pm 0,05	6,52 / \pm 1,20	70,20 / \pm 32,83
Natural 2	33,43 / \pm 1,38	6,83 / \pm 1,19	298,65 / \pm 365,36	0,12 / \pm 0,05	5,20 / \pm 1,23	77,33 / \pm 33,17
Natural 3	31,68 / \pm 2,38	6,48 / \pm 0,55	12,35 / \pm 16,26	0,09 / \pm 0,08	5,73 / \pm 1,56	64,25 / \pm 51,43
ML	28,99 / \pm 0,88	6,35 / \pm 0,04	63,35 / \pm 12,20	0,14 / \pm 0,03	7,83 / \pm 1,14	95,67 / \pm 15,52
MN	31,92 / \pm 0,25	6,76 / \pm 0,10	183,34 / \pm 151,05	0,11 / \pm 0,02	5,82 / \pm 0,66	70,59 / \pm 6,55

ML: Média das lavouras; MN: Média das áreas úmidas naturais.

Tabela 4. Abundância absoluta e grupos tróficos funcionais (GTF) dos táxons de macroinvertebrados encontrados nas lavouras (Lav) e nas áreas úmidas naturais (Nat), ao longo do período estudado, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

Táxon		3 dias		7 dias		14 dias		38 dias		60 dias		Abundância Absoluta	GTF
Família	Gênero	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat		
Filo Annelida													
Classe Oligochaeta													
		141	45	4	83	56	37	265	118	522	195	1466	CO
Classe Hirudinea													
Glossophonidae	<i>Helobdella</i> sp.	0	332	0	301	0	204	0	115	0	197	1149	PA
Filo Mollusca													
Classe Bivalvia													
Corbiculidae	<i>Corbicula</i> sp.	0	5	0	2	0	0	0	8	0	0	15	RA
Classe Gastropoda													
Ampullariidae	<i>Pomacea</i> sp.	0	2	0	2	0	0	0	1	0	4	9	RA
Hydrobiidae	<i>Heleobia</i> sp.	0	53	0	30	1	4	0	57	0	0	145	RA
Planorbidae	<i>Biomphalaria</i> sp.	0	1	1	1	3	3	129	87	287	234	746	RA
Filo Arthropoda													
Classe Aracnida													
Hydrachnidae	<i>Hydrachna</i> sp.	0	1	0	5	1	6	0	30	11	52	106	PR
Classe Crustacea													
Dogielinotidae	<i>Hyallela</i> sp.	0	50	0	167	0	34	2	366	1	718	1338	CO

Táxon		3 dias		7 dias		14 dias		38 dias		60 dias		Abundância Absoluta	GTF
Família	Gênero	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat		
Classe Insecta													
Ordem Collembola													
Isotomidae	<i>Isotomurus</i> sp.	0	5	0	1	0	0	0	0	8	0	14	GE
Ordem Coleoptera													
Curculionidae	<i>Lissorhuptros</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	52	0	3	56	FR
Dytiscidae	<i>Laccophilus</i> sp.	0	24	0	6	8	33	137	20	234	78	540	PR
Elateridae		2	0	0	0	0	0	0	0	7	0	9	CO
Haliplidae	<i>Haliplus</i> sp.	0	0	0	0	0	16	0	0	0	12	28	GE
Hydrophilidae	<i>Berosus</i> sp.	0	200	0	35	5	12	59	8	74	8	401	GE
	<i>Tropisternus</i> sp.	0	7	0	18	0	1	12	12	27	17	94	GE
Lampyridae		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	PR
Pleidae	<i>Neoplea</i> sp.	0	3	0	10	0	16	1	5	0	0	35	CO
Noteridae	<i>Hydrocanthus</i> sp.	0	12	0	9	0	2	6	1	57	6	93	GE
	<i>Suphisselus</i> sp.	0	0	0	7	1	0	5	0	27	0	40	GE
Ordem Diptera													
Ceratopogonidae		0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	PR
Chaoboridae	<i>Chaoborus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	28	CO
Chironomidae		0	49	2	10	158	12	525	450	548	520	2274	CO
Sciomyzidae		0	3	0	1	0	0	0	0	0	3	7	PA

Família	Táxon Gênero	3 dias		7 dias		14 dias		38 dias		60 dias		Abundância Absoluta	GTF
		Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat		
Simuliidae		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	CO
Tabanidae		0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	CO
Tipulidae		1	10	0	1	0	25	1	6	7	1	52	CO
Ordem Ephemeroptera													
Baetidae	<i>Baetis</i> sp.	0	2	0	1	0	0	3	51	3	86	146	RA
Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	43	2	201	247	CO
Ordem Hemiptera													
Belostomatidae	<i>Belostoma</i> sp.	0	0	0	3	0	0	1	2	28	35	69	PR
Corixidae	<i>Sigara</i> sp.	0	85	0	5	0	32	58	15	136	222	553	GE
Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3	PR
Naucoridae		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	PR
Notonectidae	<i>Buenoa</i> sp.	0	13	0	1	0	4	4	5	1	3	31	PR
Vellidae	<i>Microvelia</i> sp.	0	2	0	0	0	0	0	5	1	0	8	PR
Ordem Lepidoptera													
Pyralidae		0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	PR
Ordem Odonata													
Aeshnidae	<i>Neuraeschna</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	PR
Lestidae	<i>Lestes</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	PR
Libellulidae	<i>Erythrodiplax</i> sp.	0	3	0	1	0	2	2	1	11	11	31	PR
Coenagrionidae	<i>Ischnura</i> sp.	0	0	0	0	0	0	9	0	22	12	43	PR

Táxon		3 dias		7 dias		14 dias		38 dias		60 dias		Abundância Absoluta	GTF
Família	Gênero	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat	Lav	Nat		
Ordem Tricoptera													
Hydroptilidae	<i>Oxyethira</i> sp.	0	1	0	0	1	1	1	1	29	3	37	GE
Leptoceridae	<i>Oecetis</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	4	GE
Abundância Absoluta		144	911	7	705	234	448	1224	1459	2073	2626	9831	

Grupos Tróficos Funcionais (GTF) = CO (coletores); GE (generalistas); PR (predadores); RA (raspadores); PA (parasitas) e FR (fragmentadores).

Lav = Lavouras; Nat = Áreas Úmidas Naturais.

Tabela 5. Riqueza, abundância absoluta e percentual de diferença de macroinvertebrados aquáticos encontrados nas lavouras (Lav) e nas áreas úmidas naturais (Nat), ao longo do período estudado, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

	3 dias			7 dias			14 dias			38 dias			60 dias		
	Lav	Nat	Diferença	Lav	Nat	Diferença	Lav	Nat	Diferença	Lav	Nat	Diferença	Lav	Nat	Diferença
Riqueza	3	22	86%	3	26	88%	9	21	57%	22	24	8%	24	29	17%
Abundância	144	903	84%	7	704	99%	234	449	48%	1218	1451	16%	2079	2642	21%

Lav = Lavouras; Nat = Áreas Úmidas Naturais.

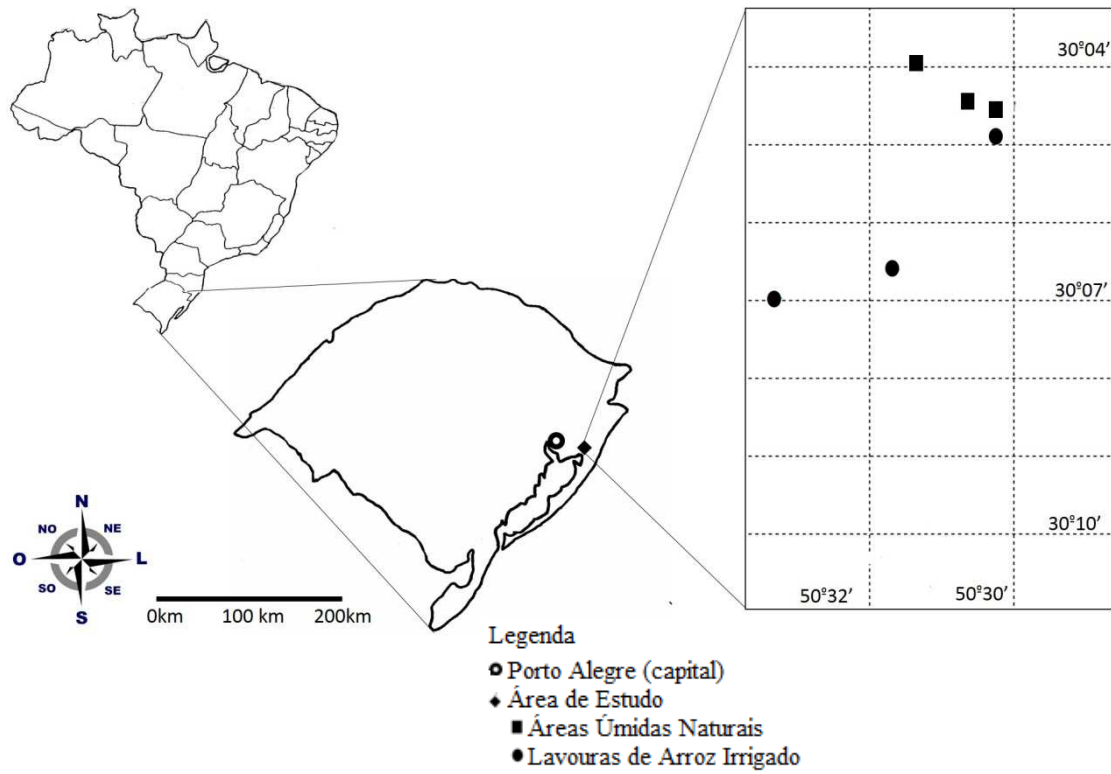


Figura 1. Localização da área de estudo no município de Capivari do Sul, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.



Figura 2. Vista parcial da Lavoura 1, fase de preparo do solo, localizado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil. Foto: Roberta Meneghel, em 07/10/2011.



Figura 3. Vista parcial da Lavoura 2 localizado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil. Foto: Iris Mello, em 02/01/2012.



Figura 4. Vista parcial da Lavoura 3 localizado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil. Foto: Iris Mello, em 02/01/2012.



Figura 5. Vista parcial da Área Úmida Natural 1 localizado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.
Foto: Iris Mello, em 02/01/2012.



Figura 6a. Vista parcial da Área Úmida Natural 2 localizado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.
Foto: Iris Mello, em 07/12/2011.



Figura 6b. Vista parcial da Área Úmida Natural 2, durante período de escassez hídrica, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil. Foto: Iris Mello, em 02/01/2012.



Figura 7a. Vista parcial da Área Úmida Natural 3 localizado no município de Capivari do Sul, RS, Brasil. Foto: Iris Mello, em 02/01/2012.



Figura 7b. Vista parcial da Área Úmida Natural 3, durante período de escassez hídrica, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil. Foto: Iris Mello, em 09/12/2011.

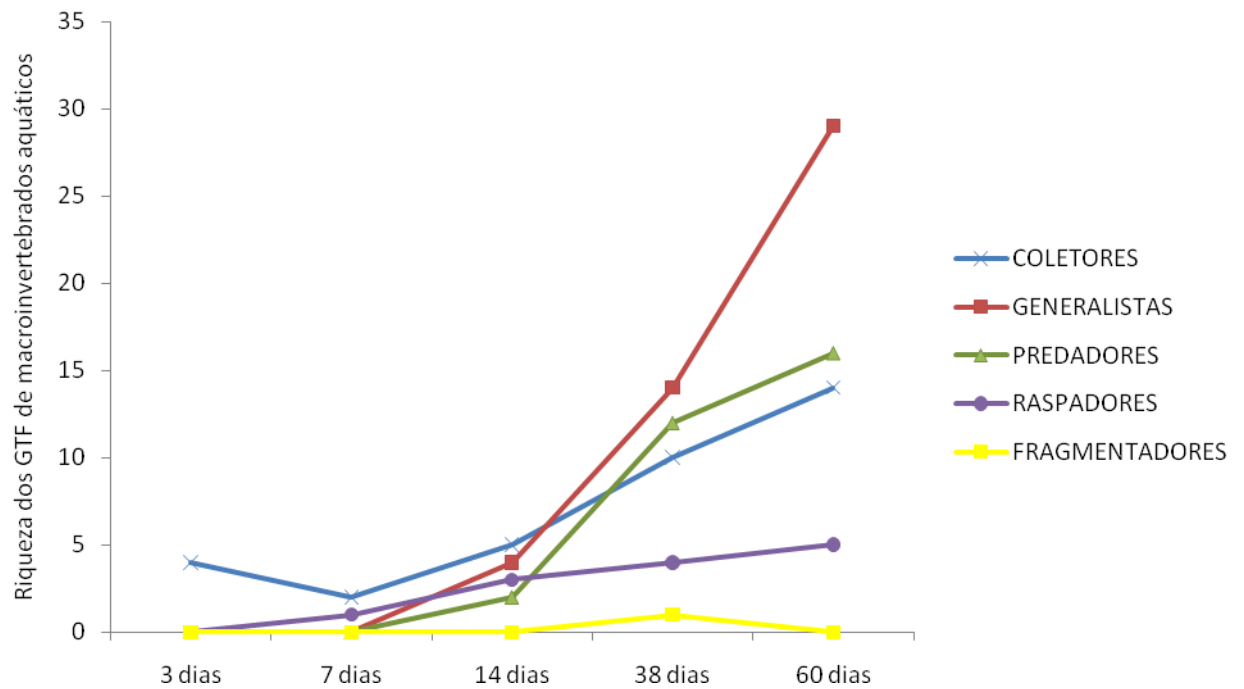


Figura 8a. Riqueza total dos grupos tróficos funcionais (GTF) de macroinvertebrados aquáticos, nas lavouras de arroz irrigado, ao longo do período estudado, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

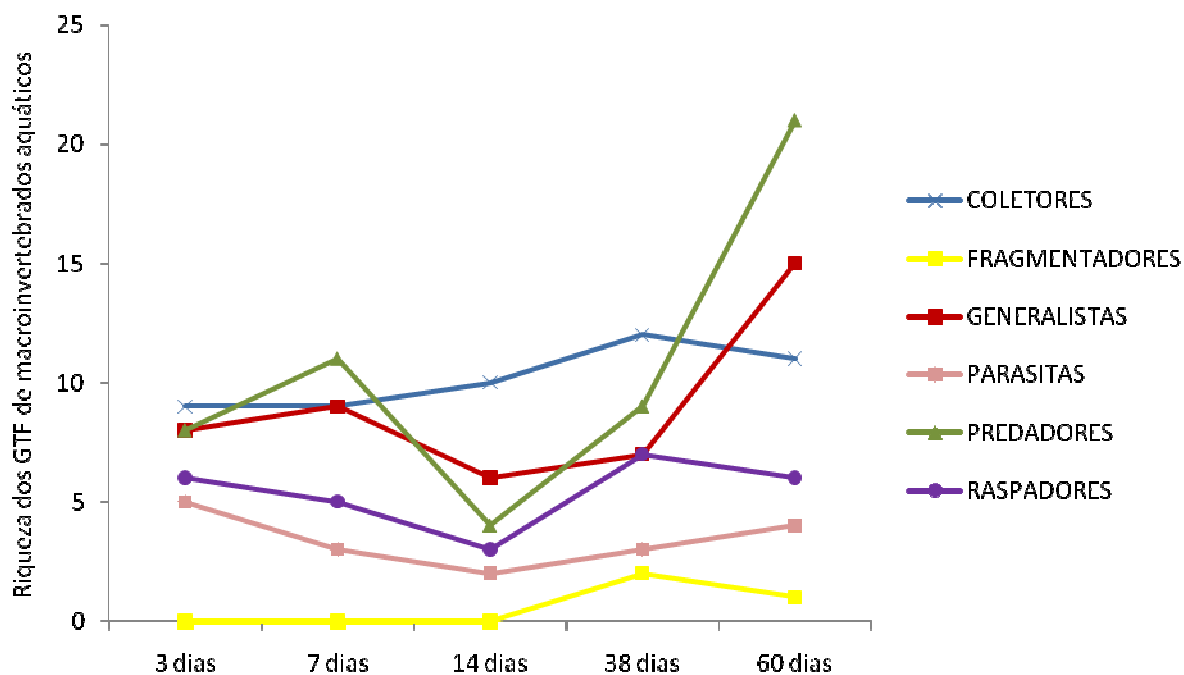


Figura 8b. Riqueza total dos grupos tróficos funcionais (GTF) de macroinvertebrados aquáticos, nas áreas úmidas naturais, ao longo do período estudado, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

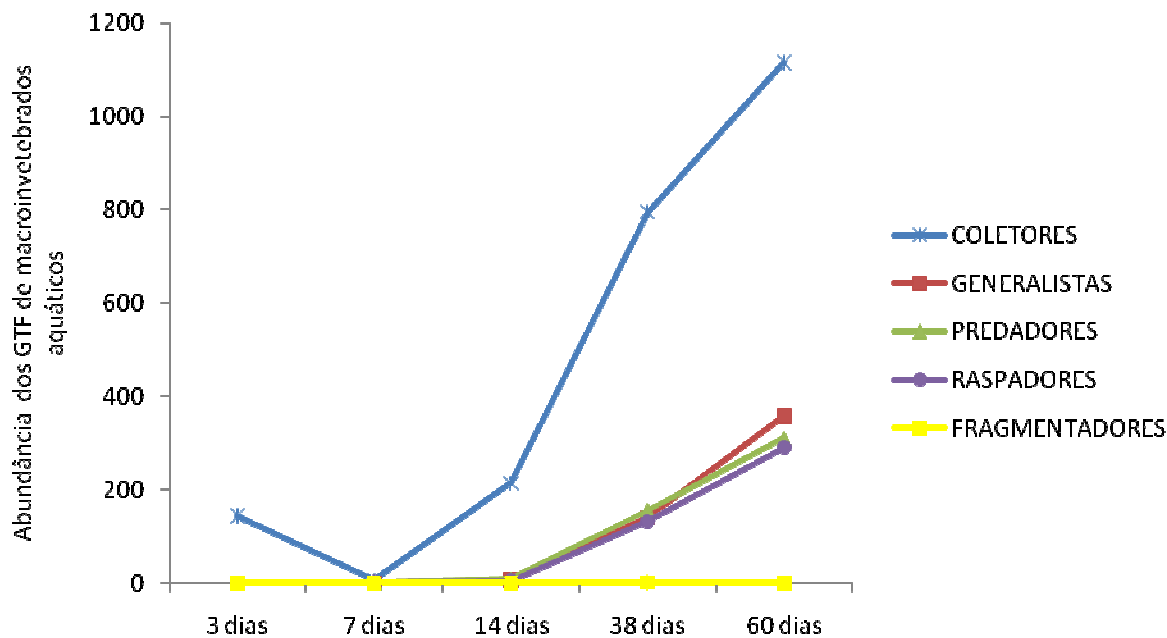


Figura 8c. Abundância total dos grupos tróficos funcionais (GTF) de macroinvertebrados aquáticos, nas lavouras de arroz irrigado, ao longo do período estudado, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

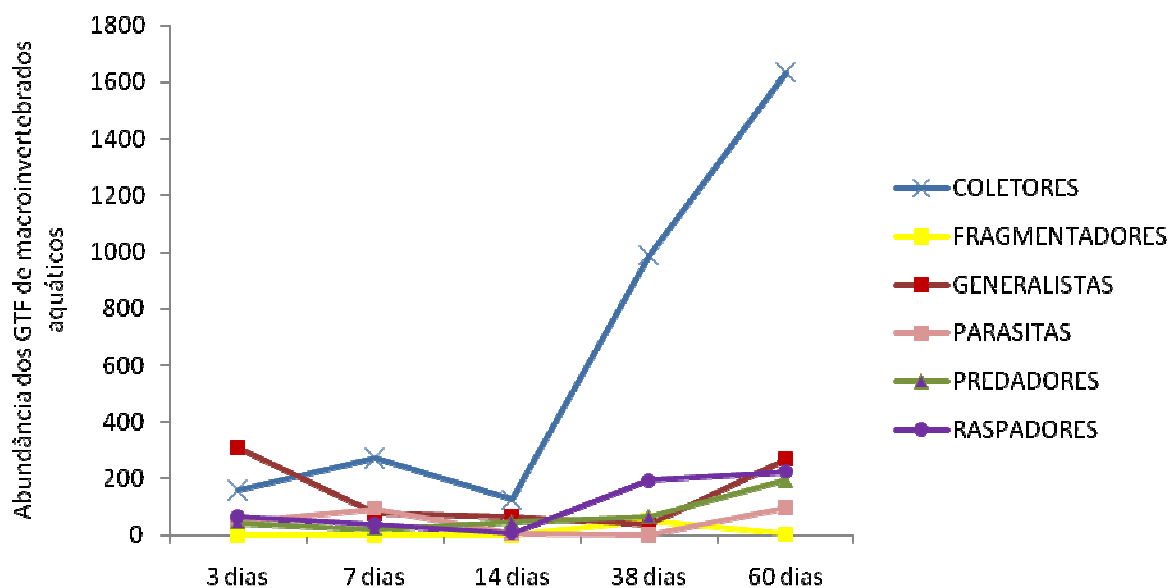


Figura 8d. Abundância total dos grupos tróficos funcionais (GTF) de macroinvertebrados aquáticos, nas áreas úmidas naturais, ao longo do período estudado, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil..

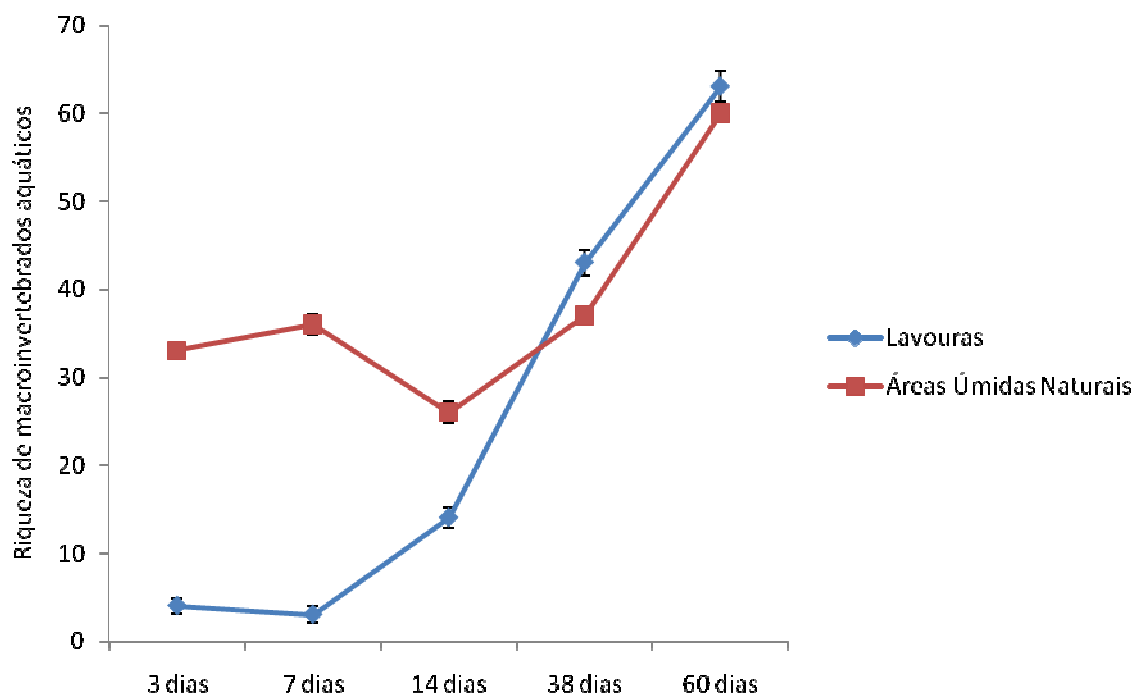


Figura 9. Variação da riqueza de macroinvertebrados aquáticos, ao longo do período de estudos, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

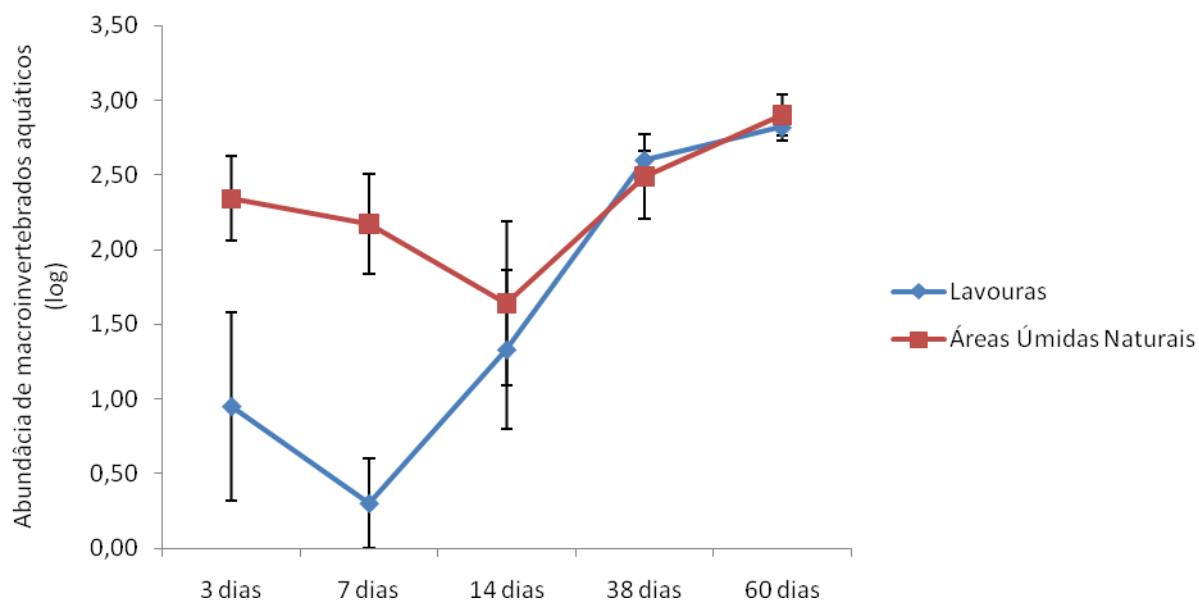


Figura 10. Variação da abundância dos macroinvertebrados aquáticos, ao longo do período de estudos, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

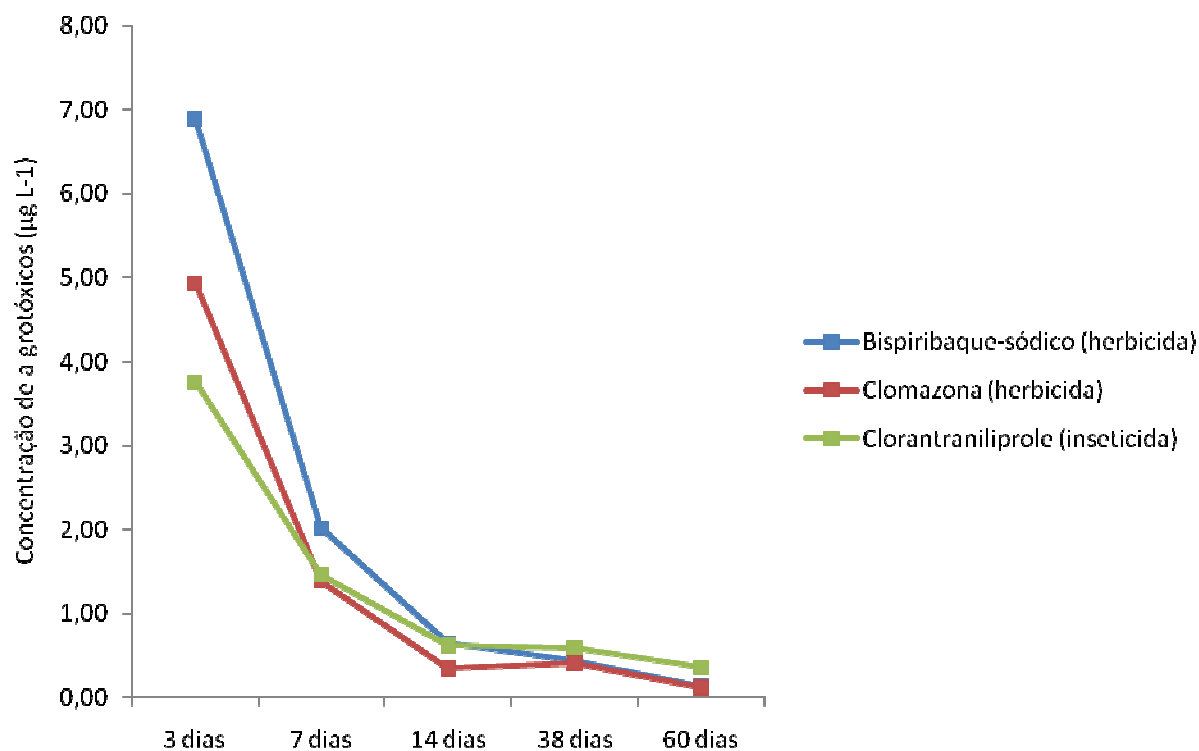


Figura 11. Concentração média de agrotóxicos utilizados nas lavouras de arroz irrigado, ao longo do período de estudos, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

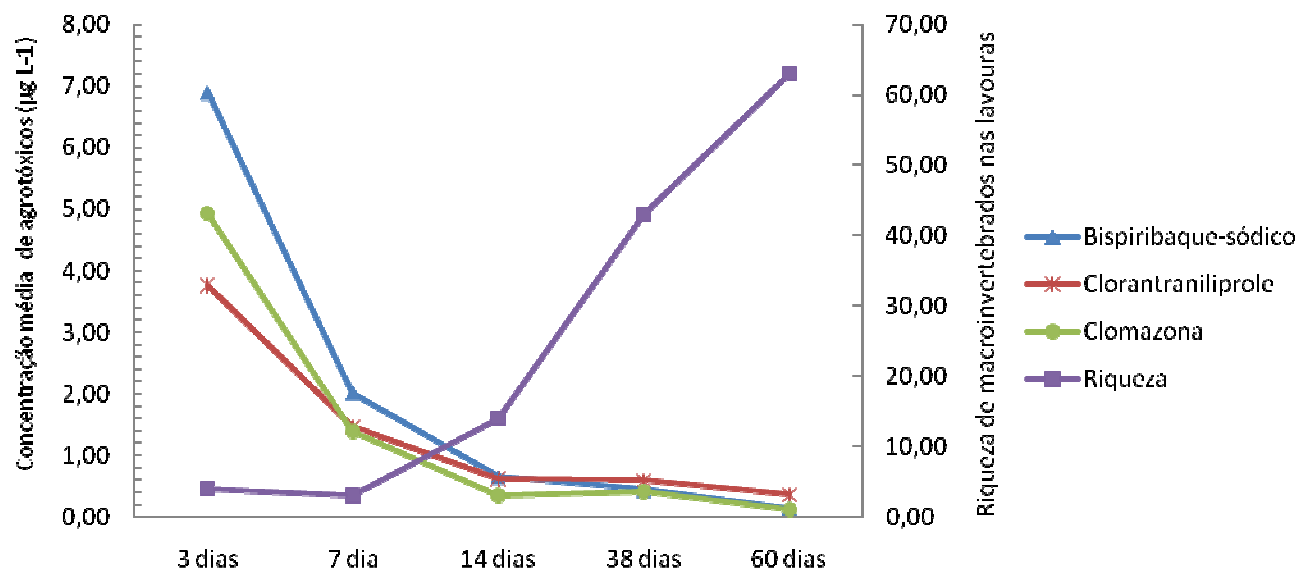


Figura 12. Variação da concentração de agrotóxicos nas lavouras e a riqueza dos macroinvertebrados aquáticos encontrados, ao longo do período de estudos, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

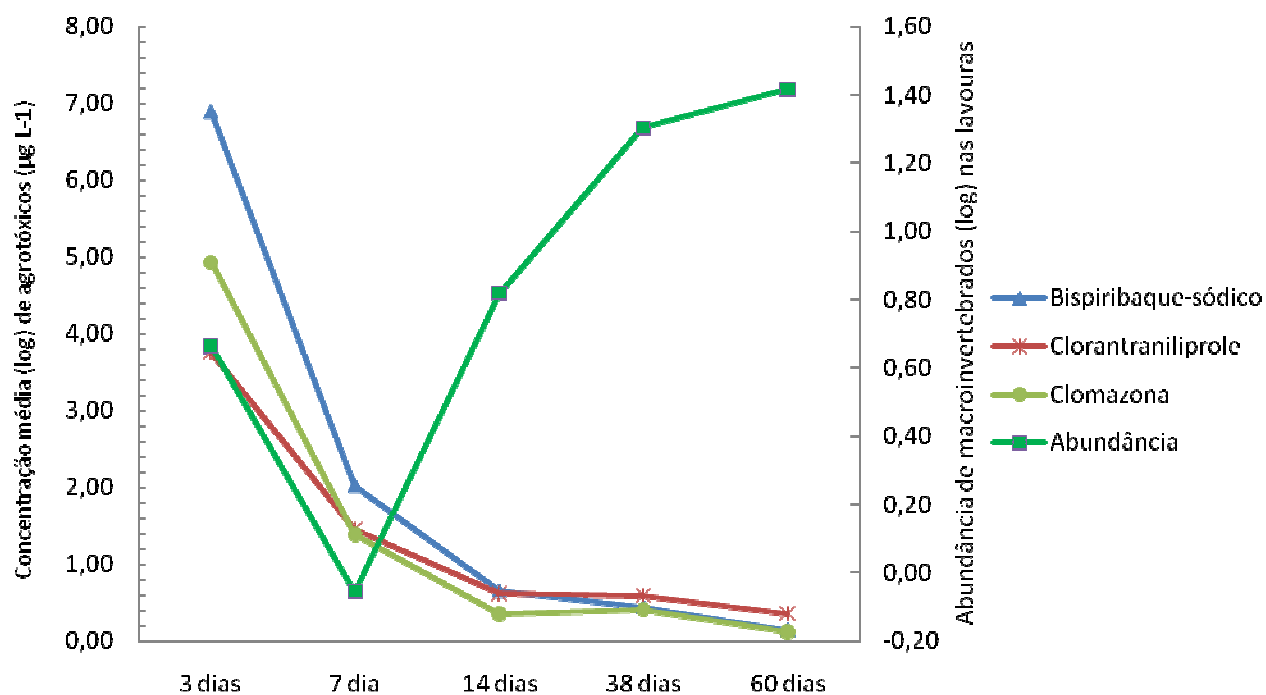


Figura 13. Variação da concentração de agrotóxicos nas lavouras e a abundância dos macroinvertebrados aquáticos encontrados, ao longo do período de estudos, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.

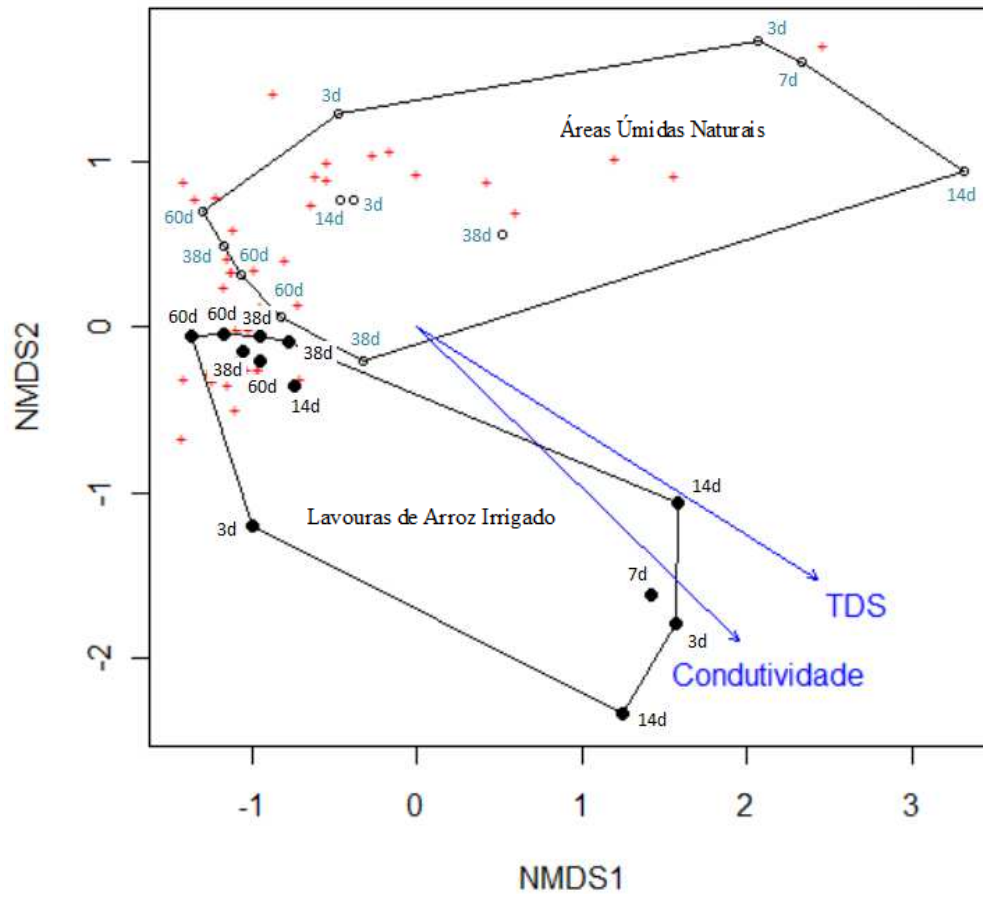


Figura 14. Dissimilaridade na composição da fauna de macroinvertebrados aquáticos entre as lavouras de arroz irrigado (●) e as áreas úmidas naturais (○), e parâmetro abióticos que influenciaram a composição ao longo do período de estudos, no município de Capivari do Sul, RS, Brasil.